



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YOĞUNLAŞTIRICI FOTOVOLTAİK (CPV) SİSTEMLERDE
FOTOVOLTAİK (PV) YÜZEY SICAKLIĞININ SİSTEM PERFORMANSINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ

HAZIRLAYAN

UMUT ÖZBEY

DANIŞMAN

DR. ÖĞR. ÜYESİ ABİD USTAOĞLU

BARTIN-2018



T.C.

**BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YOĞUNLAŞTIRICI FOTOVOLTAİK (CPV) SİSTEMLERDE FOTOVOLTAİK
(PV) YÜZEY SICAKLIĞININ SİSTEM PERFORMANSINA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Umut ÖZBEY

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU - Bartın Üniversitesi
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU - Bartın Üniversitesi
Üye : Dr. Öğr. Üyesi Alper ERGÜN - Karabük Üniversitesi

BARTIN-2018

KABUL VE ONAY

Umut ÖZBEY tarafından hazırlanan “YOĞUNLAŞTIRICI FOTOVOLTAİK (CPV) SİSTEMLERDE FOTOVOLTAİK (PV) YÜZEY SICAKLIĞININ SİSTEM PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu çalışma, 14.09.2018 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU (Danışman)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bilal KURŞUNCU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Alper ERGÜN

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKİYAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU danışmanlığında hazırlamış olduğum “YOĞUNLAŞTIRICI FOTOVOLTAİK (CPV) SİSTEMLERDE FOTOVOLTAİK (PV) YÜZEY SICAKLIĞININ SİSTEM PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

14.09.2018

Umut ÖZBEY

ÖNSÖZ

“Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik (CPV) Sistemlerde Fotovoltaik (PV) Yüzey Sıcaklığının Sistem Performansına Etkisinin İncelenmesi” isimli bu çalışmanın gerçekleşmesinde, yardımını esirgmeden bana destek olan, değerli bilgileri ile bana ışık tutan ve kullandığı her kelimenin önemini hayatım boyunca unutmayacağım değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU’na öncelikli olarak en derin saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Bölüm başkanımız Prof. Dr. Mustafa Sabri GÖK’e yardımlarını esirgemediği için teşekkür ederim. Yüksek lisansım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen canım aileme, sevgili arkadaşlarım Yasin Ensar BIYIK, Emre AYDOĞDU, Yusuf GÖKDERELİ ve Harun CAMCI’ya da teşekkürlerimi sunarım. Bu değerli çalışmada bana destek olan Hande TORLAKLI ve Bertan PARILTI’ya ve ayrıca yardımlarından dolayı Mustafa ÇAKMAK’a teşekkür ederim.

Bu çalışma, Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından tam olarak finanse edilen 216M051 numaralı bir araştırma projesi çerçevesinde geliştirilmiştir. Projeye verilen destek için ayrıca TÜBİTAK’a teşekkür etmek istiyorum

Umut ÖZBEY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YOĞUNLAŞTIRICI FOTOVOLTAİK (CPV) SİSTEMLERDE FOTOVOLTAİK (PV) YÜZEY SICAKLIĞININ SİSTEM PERFORMANSINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Umut ÖZBEY

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Abid USTAOĞLU

Bartın-2018, sayfa: 119

Bu çalışmada, fotovoltaik panellerin birleşik parabolik yoğunlaştırıcı (CPC) reflektörler ile birleştirildiği bir sistemde PV üzerinde oluşan sıcaklığın sistem verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Öncelikle literatür çalışması yapılmış ve piyasa da var olan yoğunlaştırıcılar araştırılmıştır. Ayrıca çalışmada PV sistemlerin yapısı ve fiziksel özellikleri ele alınmıştır. Non-imaging sistemler CPV sisteminde yoğunlaştırıcı reflektörler olarak kullanılmıştır. Fortran programında CPC-PV, V-trough-PV ve CHC-trumpet PV sistemlerinin ısı akısı dağılımına karar vermek için iki boyutlu Ray tracing analizi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda ışınımın farklı geliş açılara bağlı ısı akısı değerleri alınmış, yine Fortran programında oluşturulan iki boyutlu PV modülüne uygulanarak sıcaklığın bu sistemler üzerine etkisi nümerik olarak incelenmiştir. Sıcaklığın etkisini azaltmak için sisteme su soğutma yöntemi uygulanmıştır. Elektrik performansları, uniformluk ve sıcaklık dikkate alınarak değerlendirilmiştir. CPC, yalnızca güneş ışınlarının normal geliş açısı etrafında çoğunlukla eşit aydınlatma sağlamıştır. Diğer taraftan, V-trough ve CHC-trumpet geometrileri, oldukça uygun ışıklandırmalarla oldukça benzer özellikler göstermiştir. CPV-PV sisteminde ortalama sıcaklık 303-304 K, V-trough-PV sisteminde ortalama sıcaklık 297-304 K ve CHC-tumpet-PV sisteminde 299-304 K arasında değişmektedir. CPC-PV,

V-trough-PV ve CHC-trumpet-PV sistemler için sırasıyla minimum verim değerleri %14,3, %14,5 ve %14,6 iken maksimum değerleri ise %14,5, %15 ve %14,9 olduğu görülmektedir. CHC-trumpet reflektörün V-trough veya CPC sistemininkiyle aynı yoğunlaştırma oranına ulaşması için neredeyse normal sistemin yarı boyutuna denk gelmektedir. CHC sistemi oldukça düzgün bir aydınlatmaya sahiptir ve yansıtıcı yüzey alanı başına güç çıkışı bakımından diğer CPV panelleri ile karşılaştırıldığında daha iyi bir performans göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Görüntüsüz; birleşik parabolik yoğunlaştırıcı; V-trough; birleşik hiperbolik yoğunlaştırıcı; trumpet; elektriksel performans; ışın izleme; uniformluk

Bilim Kodu: 625.05.04

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PHOTOVOLTAIC (PV) SURFACE TEMPERATURE ON THE SYSTEM PERFORMANCE OF CONCENTRATING PHOTOVOLTAIC (CPV)

Umut ÖZBEY

**Bartın University
Institute of Science and Technology
Mechanical Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Abid USTAOĞLU

Bartın-2018, pp: 119

In this study, the effect of temperature on PV system efficiency was investigated in a system where photovoltaic panels were associated with compound parabolic concentrator (CPC) reflectors. Firstly, literature studies were conducted and existing concentrators in the market were investigated. In addition, the structure and physical characteristics of PV systems are also discussed. Non-imaging systems were used as reflectors in the CPV system. Analysis of CPC-PV, V-trough-PV and CHC-trumpet PV systems was performed in the Fortran program. As a result of the analysis, the heat flux values related to the different incident angles of the radiation were taken and the effect of the temperature on these systems was studied numerically by applying it to the two dimensional PV module generated in Fortran program. Water cooling system has been applied to reduce the effect of temperature. The electrical performances were evaluated by taking into account the uniformity and temperature. CPC provides mostly uniform illumination only around the normal incident angle of solar rays. On the other hand, V-trough and CHC-trumpet geometries show quite similar characteristic with reasonably uniform illuminations. The average temperature in the CPV-PV system is 303-304 K. The average temperature in the V-trough-PV system is 297-304 K and the CHC-trumpet-PV system is 299-304 K. For the CPC-PV, V- trough-PV and CHC-trumpet-PV systems, the minimum efficiency values are

14.3%, 14.5% and 14.6% respectively, while the maximum values are 14.5%, 15% and 14.9% respectively. CHC-trumpet reflector needs almost as half size as that of V-trough or CPC system to attain similar concentration ratio. CHC system has quite uniform illumination and shows a better performance compare to the other CPV panels in terms of the power output per reflector surface area.

Key Words: Non-imaging; compound parabolic concentrator; V-trough; compound hyperbolic concentrator; trumpet; electrical performance; ray tracing; uniformity.

ScienceCode: 625.05.04

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	2
BEYANNAME.....	3
ÖNSÖZ.....	4
ÖZET	5
ABSTRACT	7
ŞEKİLLER DİZİNİ	12
TABLolar DİZİNİ.....	15
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	16
KISALTMALAR	16
BÖLÜM 1 GİRİŞ	19
1.1 Çalışmanın Amacı.....	19
1.2 Literatür Özeti.....	20
1.3. Enerji.....	25
1.3.1 Genel Enerji Problemleri.....	27
1.3.2 Yenilenebilir Enerji ve Kaynakları	28
1.4 Güneş Enerjisi.....	30
1.4.1 Güneş	30
1.4.2 Güneş Açılımları	31
1.4.3 Güneş Enerji Terimleri.....	33
1.4.4 Güneş Spektrum Aralığı.....	34
1.4.5 Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli	35
1.5 Güneş Enerji Dönüşüm Teknolojileri	37
1.5.1 Isıl Güneş Teknolojileri ve Odaklanmış Güneş Enerjisi (CSP).....	37
1.5.2 Fotovoltaik Teknolojisi	38
1.5.3 Yapısına Göre Güneş Piller.....	41
1.5.3.1 Kristal Malzemeler	42
1.5.3.2 Galyum Arsenit (GaAs).....	42
1.5.3.3 İnce Film Güneş Hücreleri	43
1.6 Fotovoltaik Panel Bileşenleri.....	46

1.7 Panel Performansını Etkileyen Faktörler	47
1.7.1 Yük Direnci	47
1.7.2 Güneş Işınımı	48
1.7.3 Gölgeleme	48
1.7.4 Kirlilik	48
1.7.5 Hücre Sıcaklığı	48
1.8 Non-İmaging (Görüntüsüz) Yoğunlaştırıcılar	50
1.9 Fotovoltaik/ Termal Sistemler (PV/T)	51
1.9.1 PV/T Kollektör Çeşitleri	53
1.9.1.1 Düz plaka PV/T Kollektörleri	53
1.9.1.2 Yoğunlaştırılmış PV/T Kollektörleri	53
1.9.1.3 Su ve Hava Tipi PV/T Kollektörleri	54
1.10 Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistemler(CPV)	54
1.11 Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik/Termal (CPVT) Sistemler	55
BÖLÜM 2 MATERYAL VE YÖNTEM	58
2.1 Materyal	58
2.1.1 Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı (CPC)	58
2.1.1.1 Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı- PV Geometri Oluşumu	60
2.1.1.2 V-trough Yoğunlaştırıcı -PV Geometri Oluşumu	62
2.1.1.3 Birleşik Hiperbolik-trumpet Yoğunlaştırıcı- PV Geometrisi Oluşumu	63
2.2 Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistemin Isıl Modelin Belirlenmesi	65
2.3 Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistemin Numerik Analizi	69
2.4 Ray Tracing Metodu	74
2.5 Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistemin Elektriksel Modellenmesi	76
BÖLÜM 3 BULGULAR VE TARTIŞMA	82
3.1 PV Üzerinde Oluşan Enerji Akışı Dağılımları	82
3.2 Fotovoltaik Hücre Üzerindeki Sıcaklık Dağılımları	85
3.3 PV Hücresinin Elektriksel Performansı	94

BÖLÜM 4 SONUÇ VE ÖNERİLER	102
KAYNAKLAR.....	106
ÖZGEÇMİŞ.....	118

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1: Enerji dönüşüm zinciri.	26
1.2: Güneş sisteminde ışınımı transferleri.....	31
1.3: Güneş ile eğik düzlem arasındaki güneş açıları.....	32
1.4: Güneş azimuth açıları.....	33
1.5: Atmosferden geçmeden önceki ve sonraki güneş ışınımının enerji dağılım spektrumlar.....	35
1.6: Normal ışınım	36
1.7: Küresel ışınım	36
1.8: Fotovoltaik güç potansiyeli.....	37
1.9: Fotovoltaik pilin çalışma prensibi.....	39
1.10: Çeşitli uygulamalarda elektrik üretmek için ticari olarak temin edilebilen PV sistemlerinin örnekleri.....	40
1.11: Fotovoltaik yapımında kullanılan malzemelerin listesi.	41
1.12: Güneş ışınımını elektrige çevirmek için seçici yeteneklerini gösteren seçilmiş PV malzemelerinin spektral tepki fonksiyonları.....	45
1.13: Fotovoltaik yapısını oluşturan malzemeler	46
1.14: Fotovoltaik hücre üzerinde sıcaklığın etkisi	49
1.15: Non-imaging sistemin yoğunlaştırma prensibi	51
1.16: PV ve termal sistemler için karasal güneş spektrum dağılımı	52
1.17: Basit PV/T sistem yapısı	53
1.18: PVT kollektör çeşitleri	54
1.19: Basit CPV sistem.	55
2.1: Birleşik parabolik yoğunlaştırıcının enine kesiti.....	59
2.2: Birleşik parabolik yoğunlaştırıcı (CPC)-PV sistemin 2-boyutlu görüntüsü.	61
2.3: V-trough yoğunlaştırıcı -PV sistemin 2-boyutlu görüntüsü.....	63
2.4: Birleşik hiperbolik yoğunlaştırıcı (CHC)-PV sistemin 2-boyutlu görüntüsü.	64
2.5: Bakır boru eklenmiş PVT sistemin iki boyutlu şeklinde enerji dengesi.	69
2.6: Farklı özelliklere sahip PV üzerindeki bölgeler.....	70
2.7: Analizi yapılacak kontrol hacminin gösterimi.	72
2.8: Gelen ışının speküler yansıması.....	75

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
2.9: I-V Eğrisi.....	76
2.10: Bir fotovoltaik modül için eşdeğer elektrik devresi.....	78
2.11: Bir fotovoltaik için dört parametrelili elektrik devresi.....	79
3.1: CPC, V-trough ve CHC-Trumpet geometrilerinin optik verimleri.....	83
3.2: CPC-PV (a) V-trough--PV (b) ve CHC-trumpet-PV (c) sistemlerde güneş enerji akısı dağılımı.....	84
3.3: CPC-PV sistemde 0° (a), 5° (b), 10° (c), 15° (d), 20° (e), 25° (f), 28° (g) ve 30° geliş açıları için PV sıcaklık dağılımları.	87
3.4: CPC-PV sistemde 0° (a), 5° (b), 10° (c), 15° (d), 20° (e), 25° (f), 28° (g) ve 30° (h) geliş açıları için PV sıcaklık dağılımları (Devamı).	88
3.5: V-trough -PV sistemde 0° (a), 5° (b), 10° (c), 15° (d), 20° (e), 25° (f), 30° (g) ve 35° (h) geliş açıları için PV sıcaklık dağılımları.	89
3.6: V-trough -PV sistemde 0° (a), 5° (b), 10° (c), 15° (d), 20° (e), 25° (f), 30° (g) ve 35° (h) geliş açıları için PV sıcaklık dağılımları (Devamı).	90
3.7: CHC-trumpet-PV sistemde 0° (a), 5° (b), 10° (c), 15° (d), 20° (e), 25° (f), 30° (g) ve 35° (h) geliş açıları için PV sıcaklık dağılımları	90
3.8: CHC-trumpet-PV sistemde 0° (a), 5° (b), 10° (c), 15° (d), 20° (e), 25° (f), 30° (g) ve 35° (h) geliş açıları için PV sıcaklık dağılımları (Devamı).	92
3.9: CPC, V-trough ve CHC- trumpet sistemleri uyarlanmış PV'nin ortalama (a) ve sıcak bölge (b) sıcaklıkları.	94
3.10: CPC-PV, V-trough-PV ve CHC-trumpet-PV sistemlerin elektriksel verimleri.....	95
3.11: PV-CPC, V-trough ve CHC-trumpet sistemleri.....	95
3.12: CPC-PV, V-trough-PV ve CHC-trumpet-PV sistemlerden elde edilen güç.....	97
3.13: Reflektör yüzey alanına düşen PV-CPC, V-trough ve CHC-trumpet panellerin elektrik gücü.....	98
3.14: Güneş radyasyonunun PV hücrenin akım ve voltajı üzerine etkisi.....	98
3.15: Güneş radyasyonunun PV hücrenin güç çıktısı ve voltajı üzerine etkisi.	99
3.16: 0°, 10°, 20° ve 30°'lik geliş açılarında CPC-PV, V-trough-PV ve CHC-trumpet sistemleri için akım-voltaj ilişkisi.	99

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

Şekil No	Sayfa No
3.17: 0°, 10°, 20° ve 30°'lik geliş açılarında CPC-PV, V-trough-PV ve CHC-trumpet sistemleri için voltaj-güç ilişkisi.	100
3.18: Farklı idealite faktörleri için açık devre voltajının (V_{OC}) Fill faktör (FF) üzerine etkisi.	101

TABLULAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1.1: Yenilenebilir enerji kaynakları.....	29
1.2: Güneş enerji toplayıcıları	38
1.3: Modül verimliliklerine göre dünya genelindeki bazı PV üreticileri	45
3.1: CPC, V-trough ve CHC-Trumpet geometrilerinin tasarım parametreleri.....	83
3.2: CPC-PV, V-trough-PV, CHC-trumpet-PV sistemlerde farklı geliş açılarna göre ortalama ve maksimum sıcaklıklar	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a_E	:	Batı Yönündeki Kontrol Hacmi
a_W	:	Doğu Yönündeki Kontrol Hacmi
a_N	:	Kuzey Yönündeki Kontrol Hacmi
a_S	:	Güney Yönündeki Kontrol Hacmi
C	:	Yoğunlaştırma Oranı
c_{PV}	:	PV Hücre Özgül Isı Kapasitesi
f	:	Odak Noktası
FF	:	Fill (Doldurma) Faktörü
h	:	Reflektör Uzunluğu
h_{serb}	:	Serbest Taşınım
h_{zor}	:	Zorlanmış Taşınım
I_{SC}	:	Kapalı Devre Akımı
I_{max}	:	Maksimum Akım
I_L	:	Işığa Bağlı Akım
I_o	:	Ters Doygunluk Akımı
k_{PV}	:	PV hücre İletim Katsayısı
L	:	PV Panel Yükseltisi
L_o	:	Yoğunlaştırıcı Uzunluğu
N_r	:	Işın Sayısı
n	:	Toplam Işın Sayısı
P_{max}	:	Maksimum Güç
Pr	:	Prandtl Sayısı
Ra_L	:	Raleigh Numarası
Re_L	:	Reynolds Sayısı
R_s	:	Seri Direnç

R_{sh}	:	Şant Direnci
Rn	:	Yansıma Sayısı
s	:	PV'nin kesit uzunluğu
S	:	Kaynak Terimi
Sc	:	Sabit Değerli İndis
Sp	:	Sıcaklığa Bağlı İndis
T_{PV}	:	Hücre Sıcaklığı
$T_{ç}$:	Ortam Sıcaklığı
T_{sky}	:	Gökyüzü Sıcaklığı
T_{ref}	:	PV referans Sıcaklığı
V_{OC}	:	Açık Devre Voltajı
V_n	:	Normalleştirilmiş Voltaj
q_s	:	Güneş Işınımı
ρ_{PV}	:	PV hücre Yoğunluğu
α	:	Soğurganlık Oranı
β_{ref}	:	Sıcaklık Katsayısı
η_{ref}	:	T_{ref} sıcaklığındaki verim
η_{th}	:	Termal Verim
η_{elek}	:	Elektriksel Verim
η_{opt}	:	PV Optik Verimi
θ_{max}	:	Maksimum Kabul Açısı
φ	:	Açıklık Uzunluğu Faktörü
ε	:	Yüzeyin Yayıcılığı
σ	:	Stefan-Boltzmann Sabiti
δ	:	Yoğunlaştırıcı Kabul Açısı
τ	:	Geçirgenlik Oranı
ρ	:	Spektral Yansıma Oranı

KISALTMALAR

AM	:	Hava Kütlesi (Air Mass)
CCPC	:	Çapraz Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı
CIS/CIGS	:	Bakır İndiyum Galyum Selenid
CHC	:	Birleşik Hiperbolik Yoğunlaştırıcı
CPC	:	Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı
CSP	:	Yoğunlaştırıcı Güneş Enerjisi
CPV	:	Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik
CPV/T	:	Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik/Termal Sistem
NREL	:	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı
PTC	:	Parabolik Oluklu Kollektörler
PV	:	Fotovoltaik
STC	:	Standart Test Koşulları

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı

Son yıllarda, enerji Dünya'daki en önemli sorun haline gelmiştir. Enerji tüketimi büyük ölçüde artarken fosil yakıt kaynakları da gün geçtikçe azalmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların tüketimi çevre kirliliği, küresel ısınma, sera etkisi gibi birçok açıdan çevreye zarar vermektedir. Güvenli enerji üretimi ve çevreye verilen zararları önlemek için görünen en iyi çözüm güneş, rüzgâr ve jeotermal enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Güneş enerjisi diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yüksek potansiyele sahip enerji kaynağıdır. Güneşten hem ısı hem de elektrik üretimi için birçok teknolojiye faydalanılır.

Fotovoltaik sistemler güneşten yararlanılan yaygın bir teknolojidir. Fotovoltaik sistemler standart test koşullarında, 25 °C sıcaklık, 1000 W/m² güneş radyasyonu 1.5 AM (hava kütlesi) değerlerinde test edilerek çalışma parametreleri belirlenmekte ve bu standartlarda panelden alınan güç maksimum olmaktadır (URL-1, 2013). Veriler gerçek çalışma koşullarına uygulandığında yüksek bir verim alınması için yeterli değildir. Sıcaklığın etkisiyle oluşan çıkış gücünün bilinmesi verim için yorum yapmamıza olanak sağlar.

Bu çalışmanın amacı, yoğunlaştırıcı fotovoltaik (CPV) bir sistemde yüksek ısı akısından dolayı fotovoltaik (PV) üzerinde oluşan sıcaklığın, sistem performansı üzerine olan etkisinin incelenmesidir. Böylelikle CPV sistemin sıcaklıktan kaynaklı verim azalmasının en aza indirgenmesi amaçlanarak yeni yoğunlaştırıcı geometrileri geliştirmektir. Fotovoltaik sistemler çok büyük bir işletme maliyeti olmayan ve doğrudan elektrik üretebilen sistemler olmasına rağmen kurulum maliyeti oldukça fazladır. Bu yüzden bu sistemlerde yapılacak performans iyileştirmesi veya verimdeki azalmanın minimuma indirilmesi çok büyük önem arz etmektedir. PV hücre sıcaklığındaki artış verimi azaltmaktadır. CPV sistemlerde optik verim artırılmasına rağmen yüksek ısı akısından kaynaklanan PV sıcaklık artışı, elektrik verimi negatif yönde etkilenmektedir. Yapılacak çalışma ile PV hücre sıcaklığının, elde edilecek çıkış gücünün nasıl etkilediği bilindiği takdirde panel yüzey sıcaklığına bağlı güç kaybının önüne geçmek mümkün olabilecektir.

1.2 Literatür Özeti

Proell vd. (2016) yüksek miktarda güneş ışınımına ulaşarak PV'lerin termal verimliliğini arttırmak için CPC reflektörler ile güneş ışınlarını yoğunlaştırmışlardır. Analiz sonucunda, yüksek geliş açıları için standart CPC'nin verimlilik kayıplarının ana nedeni fotovoltaik panelin uniform olmayan bir şekilde aydınlatılmasından ve yoğunlaştırma faktöründen dolayı %15'ten %9- %11'e kadar düştüğü gözlemlenmiştir.

Bione vd. (2004) güneşi izleme özelliğine ve düşük yoğunlaştırmaya sahip fotovoltaik pompalama sistemlerinin maliyetini azaltmak için uygun bir alternatif olarak V-oluk tipi yoğunlaştırıcıları önermişlerdir. V-oluk tipi yoğunlaştırıcıların fotovoltaik uygulamalar için özellikle uygunluğunu belirlemişlerdir. Modüller bulunduğu bölgede yoğunlaştırma oranına (C) ve geliş açısına (ψ) bağlı uniform bir aydınlatma sağlandığı gözlemlenmiştir. Pompalanan su hacmi miktarı, bir V-oluk tipi yoğunlaştırıcısı ile test edilmiştir. Recife şehrinin (PE-Brezilya) iklimi için, izleme sisteminin yıllık pompalanan su hacminin, sabit sistemle elde edilen değer 1,41 katı olduğunu göstermiştir. Bu durumda, toplanan güneş enerjisi için gözlemlenen kazanımların 1,23 oranında daha fazla olduğunu saptamışlardır. V-oluk tipi yoğunlaştırıcıya sahip güneşi izleyen sistem için, pompalanan su hacminin yıllık 2,49 daha fazla, toplanan güneş radyasyonu için 1,74 daha efektif olduğu bulunmuştur. Sabit sisteme kıyasla, izleme sistemi için %19 ve yoğunlaştırma sistemi için %48'lik bir maliyet düşüşünün olduğu gözlemlenmiştir.

Sangani ve Solanki (2007) geleneksel güneş PV modülü ile birlikte V-oluk tipi fotovoltaik PV yoğunlaştırıcı sistemlerini, PV verimini değerlendirmek için tasarlamışlar ve üretmişlerdir. V-trough yoğunlaştırıcı sistemi, farklı izleme metodları (mevsimsel, bir eksenli ve iki eksenli izleme) için geliştirilip farklı marka ve türlerdeki ticari olarak temin edilebilen PV modülleri güneş ışınımı altında kullanılabilirlikleri açısından değerlendirilmiştir. Çalışma neticesinde geometrik yoğunlaştırma oranı 2 olan pasif olarak soğutulmuş V-oluk tipi yoğunlaştırıcı sisteminin, PV düz plaka sistemine kıyasla çıkış gücünü %44 artırdığı gözlemlenmiştir.

Zahedi (2011) artan güneş radyasyonun etkilediği güneş pili sıcaklığını incelemiştir. Matematiksel modelde, düz plaka aynalarının aydınlatma yoğunluğunu arttırabildiğini kanıtlamıştır.

Gakkhar vd. (2016) panelin her iki tarafında sıvı soğutma ile yüksek yoğunlaştırmada çoklu-jenerasyon güneş panelinin termal performansını tahmin etmek için analitik bir yaklaşım geliştirmişler ve MATLAB (vR2012a) kullanılarak termal analizini yapmışlardır. Analitik model, CPV hücrelerinin emici tübüne monte edildiği varsayılan bir sistem için önerilmiştir.

Shreekant ve Reddy (2017) birincil reflektör olarak doğrusal parabolik oluklu reflektör ve ikincil reflektör olarak bileşik parabolik profilli reflektör ile bir fotovoltaik teknolojisi kullanılmıştır. Çalışma da aynı zamanda güneş pilleri için soğutucu olarak hareket eden çeşitli termik akışkanların davranışlarını da karşılaştırılmıştır.

Tripathi vd. (2018) yüksek termal kazanç için yoğunlaştırıcı fotovoltaik termal (PVT) sistemlerin kullanımını önermiştir. Ayrıca sisteme gelen enerji ya da güneş ışınımını miktarını arttırarak daha yüksek sıcaklık elde etmek için birleşik parabolik yoğunlaştırıcı (CPC) ve fotovoltaik termal (PVT) sistemleri beraber analizini yapmıştır. Yapılan çalışma neticesinde güneş hücresindeki sıcaklık artışına bağlı olarak elektrik veriminin düştüğü, düşük güneş hücresi sıcaklığı sebebiyle su kullanılan sistemin elektrik veriminin DMDP akışkanına göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

Ustaoğlu vd. (2016) CPC bir sistemde, farklı gelme açıları ve farklı kesme boyutları için absorber üzerinde ısı akısı dağılımını incelemişlerdir ve en yüksek ısı akısının maksimum kabul açısına yakın olan 20° de olduğunu gözlemlemişlerdir. Kesme boyutu arttıkça sıcak bölgeye sebep olacak ısı akısında önemli bir düşüş olduğunu ve en büyük düşüşün %50 kesme oranına sahip reflektörde meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Böylece sıcaklık minimize edilerek verimde artış sağlandığı gözlemlenmiştir.

Karathanassis vd. (2017) yeni parabolik oluklu fotovoltaik / termal (CPV/T) bir sistemin tasarım ve performans değerlendirmesi bu çalışmada tartışılmıştır. Prototip CPV/T sisteminin, sırasıyla %44 ve %6'lık termal ve elektriksel verimlilik ile yaklaşık %50'lik bir toplam verim elde edilmiştir.

Farideh vd. (2017) parabolik oluklu fotovoltaik/termal (CPV/T) sistemi simüle etmişlerdir. Ayrıca, hem laminar hem de türbülanslı akış rejimlerinde enerji ve ekserji performansını araştırmışlardır. Artan yoğunlaşma oranıyla, her iki akış rejiminde PV'nin ve çıkış

sıcaklıklarının arttığını göstermişlerdir. CPV/T sisteminin performansı düz plakalı fotovoltaik/termal (PV/T) sistemi ile karşılaştırılmıştır ve PV/T sistemi, CPV/T sistemine göre daha iyi enerji ve ekserji verimliliği göstermiştir.

Alibakhsh vd. (2018) oluk tipli ve fresnel ayna esaslı fotovoltaik termal sistemler üzerinde deneysel çalışmalar ve analitik simülasyonlar altında bir inceleme sunarak gelecekteki çalışmalar için öneriler sunmuştur.

Bennett vd. (2018) yeni hibrid bir yoğunlaştırıcı güneş enerjisi ve yoğunlaştırıcı fotovoltaik (CSP / CPV) kollektör tasarımını güç üretimi amacıyla optimize etmişlerdir. İki aşamalı olan yoğunlaştırıcı da hem birleşik parabolik hem oluk tipli reflektörler kullanılmıştır.

Suzuki ve Kobayashi (1995) bileşik parabolik bir yoğunlaştırıcının (CPC) optimum kabul açısını, bir güneş radyasyonu modelini kullanarak incelemişlerdir. Çalışmada direkt radyasyonun, 23,5°'lik sapma içinde dağıtıldığı ve yayılı radyasyonun tekdüze ışınım olduğu varsayılmıştır. Kullanılan güneş radyasyonu modeli, iki boyutlu CPC'deki optimum kabul açısının, yayılı radyasyon fraksiyonunun değişmesine bakılmaksızın 26° olduğunu göstermiştir. Bu sonuç bize, neredeyse tüm dünyada, yaygın optimum bir yoğunlaştırmaya sahip bir CPC'nin birçok güneş ışını toplama sistemi için kullanılabileceği sonucuna götürmektedir.

Brogren vd. (2000) düşük yoğunluklu alüminyum bileşimli parabolik yoğunlaştırıcı su soğutmalı PV-termal hibrid sisteminin optik verimliliğini inceleyip, yaptıkları araştırmada yoğunlaştırıcı hibrid sistemlerin kullanılmasıyla, üretilen enerji başına maliyetin, eş zamanlı ısı ve elektrik üretimi ve azaltılmış bir PV hücre alanıyla azaltılabileceği sonucuna varmışlardır.

Othman vd. (2007) CCP ve kanatçıkları ile çift geçişli fotovoltaik termal güneş hava kollektör prototipi tasarlamışlardır. İncelenen hibrid fotovoltaik/termal (PV/T) kolektörünün soğurucusu, elektrik üretmek için bir dizi güneş hücresinden, güneş pilleri ve arka tarafa takılan kanatçıklara düşen radyasyon yoğunluğunu arttırmak için bileşik parabolik yoğunlaştırıcı (CPC) içermektedir. Sonuçlar Bir PV/T hibrit modülünde elektrik üretiminin, hava akışının artan sıcaklığı ile azaldığını göstermektedir. Buna ek olarak çalışmada hibrit PV/T, CPC ve kanatçıkların eşzamanlı kullanımı, güç üretiminde önemli

ölçüde artış ve fotovoltaik elektrik maliyetini düşürme potansiyeline sahip olduğu anlaşılmıştır.

Hatwaambo vd. (2008) düşük yoğunluklu fotovoltaik sistemin performansının, yarı dağınık olarak haddelenmiş yansıtıcı elemanlar kullanılarak geliştirilmesini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar, solar modül hücrelerinin düzlemine paralel olarak reflektör üzerindeki dağınık haddelemenin daha uniform bir ışın dağılımı sağlayarak fotovoltaik sistemin performansını artırdığını göstermiştir.

Good vd. (2015) sıfır enerji dengesini hedefleyen bir konut inşaatı konsepti için farklı güneş enerjisi çözümleri ve bu çözümlerinin karşılaştırmalı bir simülasyon çalışmasını sunmuşlardır. PV ve PV/T sistemleri ile karşılaştırıp, elde edilen enerji dengelerini analiz etmişlerdir.

Tripathi vd. (2016) dört sistem için: kısmen kapalı fotovoltaik termal bileşik parabolik yoğunlaştırıcıların (PVT-CPC), fotovoltaik termal (PVT) yoğunlaştırıcıların, bileşik parabolik yoğunlaştırıcıların (CPC) ve seri olarak bağlanmış düz plaka toplayıcılarının (FPC) enerji ve ekserji performansı arasında karşılaştırmalı analizini yapmışlardır. Yapılan çalışma sonucunda PVT-CPC sistemin diğer sistemlere göre ısınmasına rağmen soğutulularak daha fazla performans elde edilmiştir.

Francesconi ve Antonelli (2018) CPC'lerin farklı düzenlemelerini dikkate alarak birleşik parabolik yoğunlaştırıcı (CPC) içeren bir panelin, ısı transferinin analizini yapıp, panelde meydana gelen ısı kayıpları değerlendirmişlerdir. Analiz sonuçlarında en yüksek termal kayıpların, panelin en alt kısmına yerleştirilen yoğunlaştırıcıda olduğu, yoğunlaştırıcıların da benzer termal değerler gösterdiği görülmüştür.

Li vd. (2011) PV hücre ile izole edilmiş, çapraz bir bileşik parabolik yoğunlaştırıcının (CCPC) doğal konvektif ısı transferini 1000 W/m^2 ışınlımda deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada $28.5 \text{ }^\circ\text{C}$ ortam sıcaklığının yanı sıra 0° , 10° , 20° , 30° ve 40° 'lik geliş açılarında güneş ışınlımını gelecek şekilde güneş simülatörü kullanılıp, CCPC'nin doğal ısı transferi davranışını ve laminer akışlı modellerde optik performansının analizi yapılmıştır. Araştırma sonunda CCPC'nin ısı transferi ve optik performanslarının geliş

açısına bağlı olduğu tespit edilip, özellikle, PV hücresinin 20°'den daha az geliş açılarında en yüksek sıcaklığa tabi olduğu gözlenmiştir.

Solanki vd. (2008) güneş pillerinin bulunduğu bir yoğunlaştırıcı fotovoltaik PV modülünü V-oluk tipli yoğunlaştırıcı entegre ederek, daha iyi bir ısı dağılımı için tasarlamışlardır. V-oluk tipli yoğunlaştırıcı bu çalışmada yoğunlaştırma oranı 2x, kabul açısı 20° olan %80 yansıtıcılığa sahiptir. V-oluk tipli sistemde hücrelerinde artan akım yoğunluğu, düz plaka PV modülüne kıyasla modülün daha yüksek açık devre voltajına (Voc) ulaştığına ve dolayısıyla daha yüksek performansa sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca bulgular V-oluk reflektörün güneş hücresine gelen ışınımı %58,5 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir.

Tang ve Liu (2011) güneş pillerinin adapte edildiği bir V-oluk tipli yoğunlaştırıcının tabanında toplanabilir radyasyonun tahmin edilmesi için düzlemsel aynaların, güneş geometrisinin ve aylık yatay radyasyonun görüntüleme prensibine dayanarak ayrıntılı bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Çalışmada yapılan nümerik hesaplamalar, V-oluk tipli bir yoğunlaştırıcının tabanındaki yıllık toplanabilir radyasyonun reflektör açısına, reflektörün yansıtıcılığına, eğim açısına ve iklim koşullarına bağlı olduğunu göstermiştir.

Künemeyer vd. (2014) V-oluk tipli bir fotovoltaik/termal güneş kolektörü için bir tasarım modelini teorik olarak analiz edip ve deneysel verilerle doğrulamışlardır. %67 yansıtıcılığa sahip paslanmaz çelikten yapılan, tepe noktası açısı 25° ve yoğunlaştırma oranı 2,36 olan V-trough yoğunlaştırıcılar kullanmışlardır. Sonuç olarak V-trough geometrisine sahip sistemin fotovoltaik hücrelerin üzerine radyasyonu %25 daha fazla yoğunlaştırarak ve aktif soğutma sağlanarak elektrik verimini arttırdığını göstermiştir.

Singh vd. (2016) yaptıkları bu çalışmada, bileşik parabolik yoğunlaştırıcı ve V-oluk tipli reflektöre sahip yoğunlaştırıcının optik verimi ve enerji dönüşüm özellikleri hakkında bilgi vermektedirler. Bu çalışmada alıcı yüzeyinde yer alan PV hücreleri, merkez eksenli yoğunlaştırıcının odak çizgisi ile paralel olarak hizalandığında, hücre üzerinde oluşan aydınlatma araştırılmıştır. 0°, 10°, 20°, 30°, 40° ve 52° gibi farklı kolektör eğim açılarında piranometre ve foto-diyotlar kullanılarak PV hücre yüzeyindeki sıcaklıklar ölçülmüştür. Toplanan deneysel verilerin analizi, V-trough sisteminin, CPC'den daha yüksek bir güneş radyasyonu dağılımına ve daha yüksek bir optik yoğunlaşma oranına sahip olduğunu

göstermiştir. V-PV sisteminin güç üretiminin, CPC'nin güç çıkışından %11,9 daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

Maiti vd. (2011) doğu-batı uygulamasında manuel güneş izleyici ile donatılmış bir V-PV sistemini test etmişler ve PV modülünün arka tarafındaki ısıyı uzaklaştırmak için bir faz değişim malzemesi olan PCM (parafin mumu) kullanmışlardır. Artıçlanmış alüminyumdan yapılmış, yoğunlaştırma oranı 2x ve tepe noktası açısı 30 o olan bir V-oluk tipli bir yoğunlaştırıcı kullanmışlardır. Sonuç olarak PCM yerleştirilmiş V-PV sisteminin 1,55 kat daha fazla güç çıktısı elde edilmiştir.

Tina ve Scandura (2012) V-oluk tipli reflektöre sahip fotovoltaiğin (V-PV) performansını, herhangi bir yoğunlaştırıcıya sahip olmayan fotovoltaiik ile karşılaştırdılar. V-oluk tipli yoğunlaştırıcı 1,81'lik bir yoğunlaştırma oranına ve 33°'lik tepe açısına sahip düz aynalardan yapılmıştır. V-PV sistemi tarafından üretilen gücün, yoğunlaştırıcı içermeyen PV'ye göre yaklaşık %34 daha yüksek olduğunu bulmuşlardır.

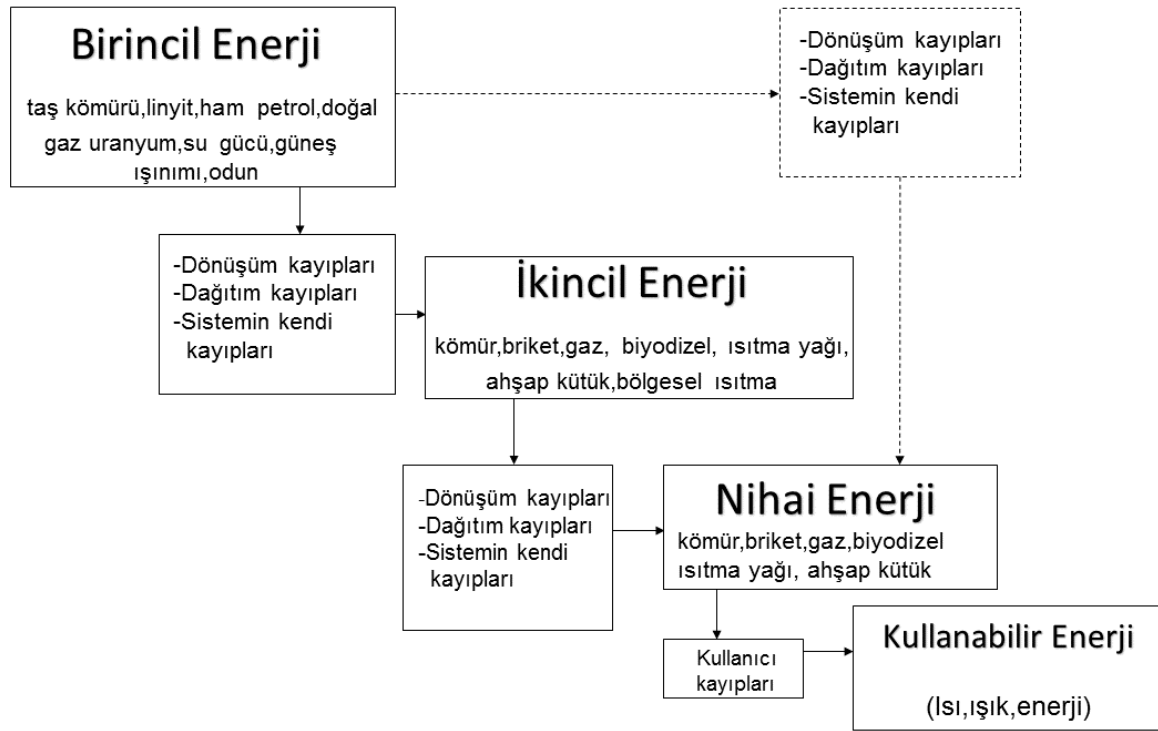
Wisam vd. (2016) OptikWorks ışın izleme programını kullanarak fotovoltaiik modül ile kullanılan V-oluk tipli yoğunlaştırıcının optimum tasarımını belirlemek için yeni bir simülasyon gerçekleştirdiler. Optimum yoğunlaştırmanın belirlenmesi için, yoğunlaştırma oranına ve ışınım dağılımına bağlı olarak reflektörlerin eğim yüksekliği ve tepe noktasının yüksekliği gibi optik parametrelerin etkisini araştırmışlardır. Bu simülasyon da dört farklı geometrik yoğunlaştırma oranına (1.5x, 2x, 2.5x, 3x) ve üç farklı reflektör malzemeye (ideal reflektör %R100, %R90 anodize edilmiş alüminyum ve %80 ayna) sahip bir V-oluk tipli yoğunlaştırıcıyı incelemişlerdir. Simülasyon ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında %21,99 sapma olduğu ve sırasıyla 1.5x, 2x, 2.5x ve 3x yoğunlaştırma oranlarında tepe noktası için optimum açıların 30°, 30°, 22° ve 19° olduğunu elde etmişlerdir.

1.3. Enerji

Enerji, bir sistemin harici bir eyleme neden olma yeteneği olarak tanımlanır. Enerji, her insanın yaşam faaliyetlerinin temellerini oluşturan, sürdürülebilir yaşam kalitesi için gerekli olan temel yapı taşıdır. Enerji, büyüme, ekonomik ve sosyal kalkınma için gereklidir. Bu bakımdan, enerji mekanik enerji (yani potansiyel veya kinetik enerji),

termal, elektrik ve kimyasal enerji, nükleer enerji ve güneş enerjisi gibi formlarına ayrılır (Şen, 2007).

Enerji ölçüm cihazlarında, iş yapma yeteneği kuvvet, ısı ve ışık ile görünür hale gelir. Kimyasal enerjinin yanı sıra nükleer ve güneş enerjisinden de, enerji formlarının mekanik veya termal enerjiye dönüşmesi ile iş yapabilmek mümkündür. Enerji taşıyıcısı terimi ya doğrudan ya da birkaç dönüştürme işlemi ile yararlı enerji üretmek için kullanılacak bir maddedir. Dönüşüm derecesine göre, enerji taşıyıcıları birincil veya ikincil enerji taşıyıcıları ve nihai enerji taşıyıcıları olarak sınıflandırılır. Bu enerji taşıyıcılarının ilgili enerji içeriği birincil enerji, ikincil enerji ve nihai enerjiden oluşur (Hulpke, 2000).



Şekil 1.1: Enerji dönüşüm zinciri (Kaltschmitt, 2007).

Birincil enerji taşıyıcıları, herhangi bir teknik dönüşümden geçmemiş olan maddelerdir ve birincil enerji taşıyıcılarını nitelemektedir. Birincil enerjiden (örneğin rüzgar enerjisi, güneş, hidrolik) veya birincil enerji taşıyıcılarından (örneğin, kömür, linyit, ham petrol ve biyokütle) doğrudan veya birkaç teknik dönüştürme işlemiyle ikincil enerji (örneğin benzin, ısıtma yağı, elektrik enerjisi) veya ikincil enerji taşıyıcısı üretilebilir. Birincil enerjinin işlenmesi sırasında, dönüşüm ve dağıtım kayıpları meydana gelmektedir. İkincil enerji taşıyıcıları ve ikincil enerjiler, tüketiciler tarafından nihai enerji taşıyıcılarına veya

enerjilere dönüştürülebilir. Nihai enerji taşıyıcısı ve nihai enerji, sırasıyla, nihai kullanıcı tarafından doğrudan tüketilen enerji akışlarıdır (örneğin, yağ haznesinin içindeki hafif yakıt, yanma için kullanılacak ağaç yongaları, bölgesel ısıtma). Yararlı enerjiye dönüştürmek için kullanılabilirler. Yararlı enerji, tüketicinin ihtiyaç duyduğu gereklilikleri veya enerji taleplerini (örneğin, alan ısıtması, gıda hazırlama, bilgi, taşıma) karşılamak için son dönüştürme adımından sonra mevcut olan enerjiyi ifade eder ve Şekil 1.1'de gösterilmektedir (Kaltschmitt, 2007).

İnsanlara sunulan tüm enerji miktarı, enerji temeli olarak adlandırılır (URL-2, 2009). Bu ağırlıklı olarak tüketilebilir enerji kaynaklarının ve büyük ölçüde de yenilenebilir enerji kaynaklarının enerjisinden oluşur (Kaltschmitt vd., 2007).

1.3.1 Genel Enerji Problemleri

Enerjide dışa bağımlılığın azalması, bir ülkenin sosyal ve ekonomik olarak gelişmesi için çok önemli husustur. Bununla birlikte tarımsal, endüstriyel ve konutsal alandaki teknolojik gelişmelerin sonucu olarak enerjiye olan talep gittikçe artmaktadır. Enerji kaynağı olarak da petrol, kömür ve doğal gaz gibi birincil enerji kaynaklarının tüketen dünyamız da, gelişen teknoloji ile birlikte gelen bu enerji talebinin sonucunda sera gazı salınımı seviyesinde artışa, çevresel kirliliğe, enerji krizlerine ve yakıt fiyatlarında artışa sebep olmuştur. Özellikle asit yağmurları, ozon tabakasının delinmesi, su kirliliği ve hava kirliliği gibi çevresel sorunlar yaşadığımız dünya üzerinde büyük problemlere yol açacaktır. Bununla birlikte geleneksel enerji kaynaklarının hızla tükeniyor olması ve belirtilen enerji kaynaklı problemler artarken, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmekte ve bunu temiz bir enerji geleceği için bir anahtar olarak görmektedirler. Yenilenebilir enerji kaynakları ve sistemleri dünyadaki temel teknik, çevresel ve politik problemlere yararlı bir etki sağlayabilir;

1. Asit yağmurları, ozon tabakasının tükenmesi, sera etkisi ve duman gibi ana çevresel problemlerine
2. Çevresel kirliliğine
3. Kömür, yağ ve doğal gaz gibi yenilenmeyen geleneksel kaynakların Dünya üzerinde tükenmesinden dolayı oluşacak enerji açığına
4. Gelişmekte olan ülkelerin artan enerji kullanımlarını karşılamak adına

5. Dünya nüfusunun artışından kaynaklanan enerji ihtiyacına (Şen, 2007).

1.3.2 Yenilenebilir Enerji ve Kaynakları

Yenilenebilir enerji terimi, insan (zaman) boyutları açısından tükenmez olarak kabul edilen birincil enerjileri ifade eder. Yenilenebilir enerji sürekli doğal süreçlerden ortaya çıkmaktadır. Değişik şekillerde doğrudan ya da dolaylı olarak güneş veya dünyamızın içinde meydana gelen ısıdan oluşmaktadır (OECD/IEA, 2012). Enerji kaynakları güneş enerjisi, jeotermal enerji ve gelgit enerjisi tarafından sürekli olarak üretilirler (Karaj, 2012).

Güneş enerjisi, neredeyse tüm fosil ve yenilenebilir enerji çeşitlerinin en eski kaynağı ve köküdür. Yenilenebilir enerji kaynakları, özellikle de nükleer ve fosil enerji formlarına devasa miktardaki devlet yardımları düşünüldüğünde, orta vadede geleneksel olan enerji kaynaklarına kıyasla maliyetleri önemli ölçüde düşürdüğü için ekonomik açıdan rekabetçi olması beklenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları gelişmekte olan ülkelere, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımından yoksun olan ülkelere enerji hizmetlerinin sağlanmasında büyük faydalar sağlamaktadır. Şimdiye kadar, yenilenebilir kaynaklar ekonomik nedenlerden ötürü tamamen göz ardı edilmiştir. Yenilenebilir enerji dünyadaki en hızlı büyüyen enerji kaynağıdır. 2010 yılında, fosil yakıtların elektrik enerjisi üretimi açısından payı %3 ila %4 artarken, yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %10'dan %15'e yükselmiştir." (AEO, 2012). Yenilenebilir enerji, sürdürülebilirliği, her yerde bulunabilirliği (fosil yakıtların ve minerallerin aksine dünyanın her yerinde bulunur) temiz ve çevre dostu olmalarından dolayı tercih edilmektedir (Veziroğlu, 1995).

Yenilenebilir enerjinin önem kazanmasında petrol fiyatlarındaki belirsizlik, enerjide dışa bağımlılık, karbon emisyonları ile ilgili çevresel kaygılar kadar; devlet politikaları (yenilenebilir enerji üretiminde vergi indirimi gibi), yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulumu için kredi verme, yenilenebilir enerji sertifikaları için piyasa oluşturma gibi konular da kritik bir durum oluşturmaktadır (Bowden ve Payne, 2010). Yenilenebilir enerji kaynakları Tablo 1.1'de görülmektedir.

Tablo 1.1: Yenilenebilir enerji kaynakları (URL-3, 2013)

YENİLENEBİLİR ENERJİ ÇEŞİTLERİ	ENERJİNİN KAYNAĞI
Güneş Enerjisi	Güneş
Rüzgar Enerjisi	Rüzgar
Jeotermal Enerjisi	Yer Altı Suları
Hidrolik Enerjisi	Nehir ve Akarsular
Biyokütle Enerjisi	Biyolojik Atıklar
Dalga Enerjisi	Okyanus ve Denizler
Hidrojen Enerjisi	Su ve Hidroksitler

Rüzgar: Rüzgar türbinleri ile rüzgarın kinetik enerjisinin elektrik üretimi için kullanılmasıdır.

Jeotermal: Yer kabuğundan emilen ısı daha çok sıcak su ya da buhardan elde edilen enerji olarak karşımıza çıkmaktadır. Elektrik üretimi, ısı üretimi ve ısı olarak kullanılmaktadır.

Hidrolik: Hidroelektrik santrallerde suyun potansiyel ve kinetik enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle oluşur.

Biyokütle ve yenilenebilir atıklar: Temelde katı biyo-yakıtlar, biyogazlar, sıvı biyoyakıtlar ve yenilenebilir kentsel atıklar olarak dört sınıfa ayrılmaktadır. Katı biyoyakıtlar biyolojik kökenli, organik, fosil olmayan malzemedir. Biyogazlar, biyoyakıt ve katı atıkların oksijensiz fermentasyonu ile ortaya çıkan gazlardır. Sıvı biyoyakıtlar, benzin, biyodizel ve türevi sıvılardır. Yenilenebilir kentsel atıklar ise kentsel atıkların geri dönüştürülebilen kısmıdır (Dumlupınar, 2013).

Dalga/Okyanus: Med-cezir, dalga hareketleri ve okyanustan kaynaklanan mekanik enerjinin elektrik üretilmesi için kullanılmasıdır (Dumlupınar, 2013).

1.4 Güneş Enerjisi

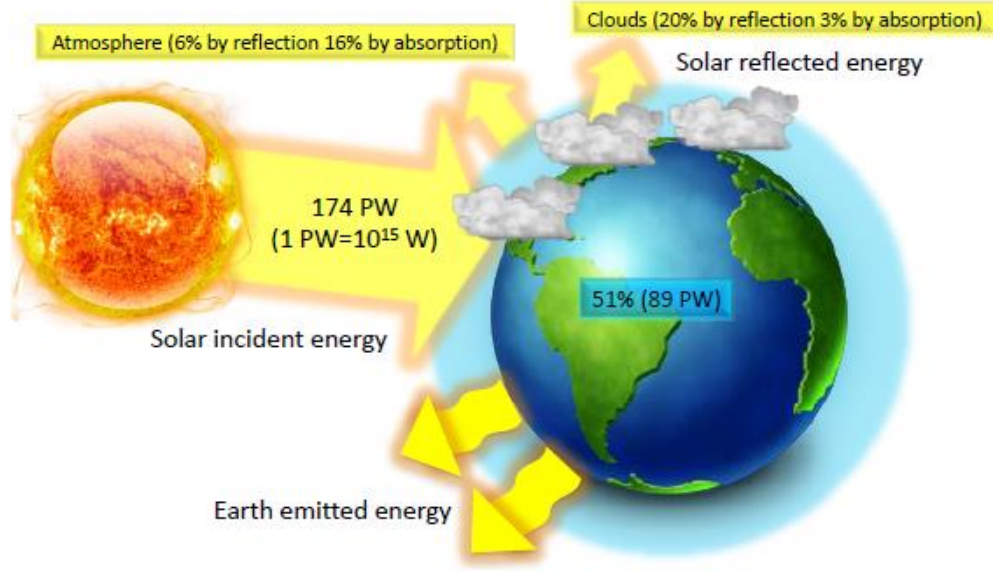
Güneş enerjisi, Güneş'in çekirdeğinde oluşan nükleer füzyon gücüne dayanır. Güneş enerjisi birkaç farklı şekilde toplanabilir veya dönüştürülebilir. Güneş enerjisi çevreye en az negatif etkisi olan ve en bereketli yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Bu enerjiyi kullanabilmek için fotovoltaik ve güneş enerji toplayıcıları gibi birçok teknoloji geliştirilmiştir. Güneş kolektörleri ile güneş enerjili su ısıtıcısından veya güneş ışığının doğrudan aynalar, yoğunlaştırıcılar ve fotovoltaik hücreler kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmesinden elde edilen enerjidir.

1.4.1 Güneş

Güneş, $1,39 \times 10^9$ m çapında yoğun bir şekilde sıcak gaz halindeki bir küredir ve ortalama olarak dünyadan 1.5×10^{11} m büyüklüktedir. Yeryüzünden görüldüğü gibi, güneş eksenini etrafında dört haftada bir kez döner. Bununla birlikte, güneş bir bütün olarak dönmez; ekvator bölgesinin dönüşü 27 gün ve kutup bölgelerinin dönüşü yaklaşık 30 gün sürmektedir (Anderson, 1982).

Güneş, 5777 K'lık etkili bir kara cisim sıcaklığına sahiptir. Merkezi iç bölgelerdeki sıcaklık, 8×10^6 dan 40×10^6 K'ya kadar çeşitli değişmekte ve yoğunluğu yaklaşık suyun 100 katı olarak tahmin edilmektedir. Güneş, aslında, yerçekimi kuvvetleri tarafından tutulan bir füzyon reaktörüdür (Duffie ve Beckman, 2013). Güneş tarafından enerji yayılımını sağlamak için füzyon reaksiyonları gerekmektedir. En önemli olarak kabul edilen füzyon olayı hidrojen atomlarının birleşerek helyum atomlarına dönüşmesiyle açığa çıkmaktadır. Güneşte saniyede 564 milyon ton hidrojen 560 milyon ton helyuma dönüşmekte ve kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı $3,86 \times 10^{26}$ J (joule), yani 386.000.000 EJ enerji açığa çıkmaktadır (1 EJ = 22,7 MTEP, milyon ton eşdeğer petrol). Güneşten bir saniyede salınan enerjinin güç olarak karşılığı $3,86 \times 10^{20}$ MW'tır (1 MW = 10^6 W). Dünya'nın çapına eşit bir dairesel alan üzerine çarpan güneş gücü ise 178 trilyon kW düzeyindedir (Ültanır, 1996). Dünyaya güneşten bir yılda yaklaşık olarak 173 milyar MW enerji gelmektedir (Oktik vd., 2005). Açığa çıkan bu enerjinin çok küçük bir kısmı yeryüzüne ulaşmaktadır (Boyle, 1996). Şekil 1.2'de görüldüğü gibi yaklaşık olarak gelen enerjinin %30'luk bir kısmı yansıtılarak uzaya geri dönmekte, %20'lik bir kısmı ise atmosfer tarafından soğurulmaktadır. Geri kalan %50'lik kısmı yeryüzünde soğurulmaktadır (Ültanır, 1996). Dünya atmosferinin dışında güneş enerjisinin şiddeti sabit

ve 1.370 W/m^2 değerindedir, ancak yeryüzünde $0-1.100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim gösterir (URL-4, 2001).

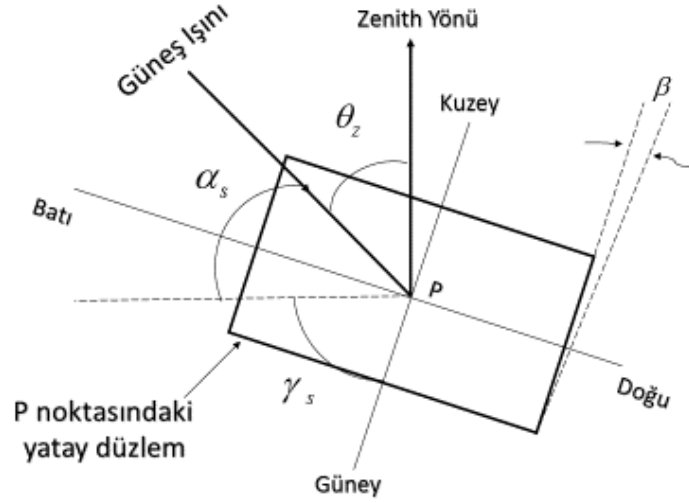


Şekil 1.2: Güneş sisteminde ışınımı transferleri (Ustaoğlu, 2014).

Güneş küresinin iç kısmında, milyonlarca derece sıcaklıkta üretilen enerji, yüzeye aktarılmalı ve daha sonra uzaya yayılmalıdır. Işınım ve taşınım proseslerinin birbiri ardına gerçekleşmesi ardışık emisyon, soğurma ve yeniden ışıma ile meydana gelmektedir; Güneşin çekirdeğindeki ışınım, spektrumun x-ışını ve gama ışını kısımlarında olup, sıcaklık daha büyük radyal mesafelerde düştükçe ışınımın dalga boyları artar (Duffie ve Beckman, 2013).

1.4.2 Güneş Açıları

Rasgele yönelimli bir yüzeyde ışın demetinin enerji akışı, ya güneş ışınlarına dik olan ya da yatay olan yüzeyde akı tarafından elde edilebilir. Güneş açıları elde edilen güneş enerjisini anlamak için gereklidir. Gökyüzündeki Güneş'in pozisyonu birkaç açı ile birlikte tanımlanabilir. Bu açılar Şekil 1.3'te gösterilmektedir.

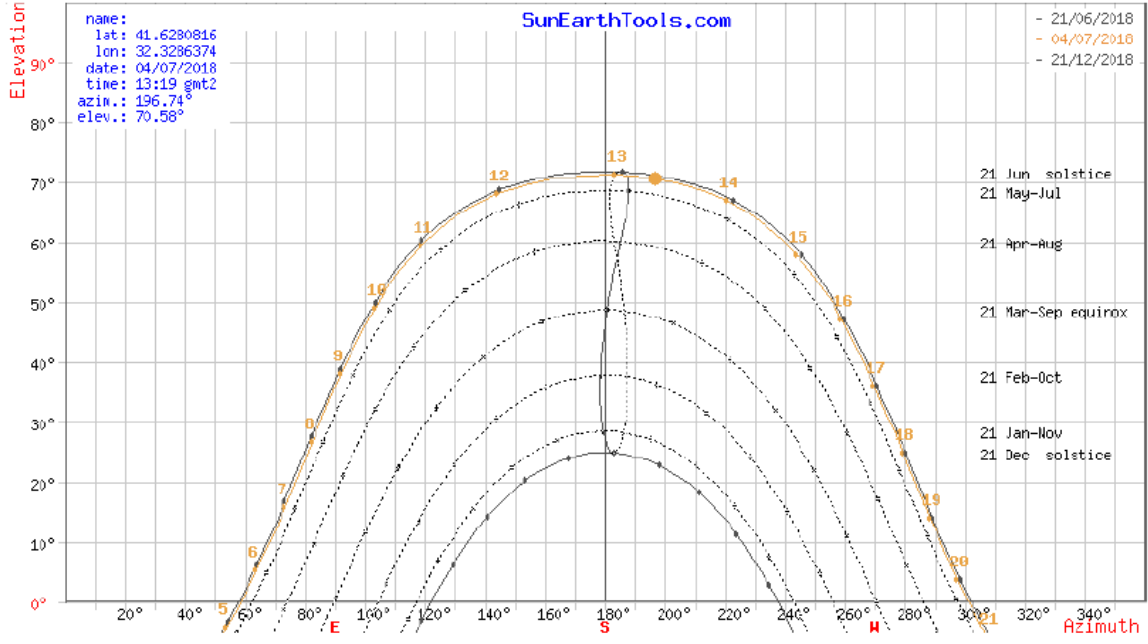


Şekil 1.3: Güneş ile eğik düzlem arasındaki güneş açıları (Şen, 2007)

Enlem (ϕ), Ekvator'un kuzeyindeki veya güneyindeki herhangi bir noktanın Ekvator'a olan açısal mesafesidir ($-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$) (URL-5, 2002). Deklinasyon açısı (δ), öğlen saatlerinde Güneşin açısal pozisyonudur (ekvator ile yaptığı açı) (Cooper, 1969). n bir yıl içerisindeki gün sayısını belirtir.

$$\delta = 23.45 \sin \left[360(284 + n) / 365 \right] \quad (1)$$

β yatay pozisyondan düzlemin eğimidir ($0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$) (Benford and Bock, 1939). θ_z ışınların yatay düzleme geliş açısıdır ($\beta=0$). Bu zenith açısı olarak adlandırılır ve Güneş doğarken ve batarken zenith açısı 90° ye yakın, ama öğlen saatlerinde sıfıra eşittir ya da sıfıra çok yakındır. Ufuk ve güneş ışınları arasındaki açı, gökyüzünde güneşin yüksekliğini gösteren güneş yüksekliği açısı α_s olarak adlandırılır. Güneş Azimuth açısı doğrudan ışınımın yatay izdüşümü ve güney yönü arasındaki açıdır. Yüzey azimut açısı, güney yönü ve düzlemin bulunduğu yön ile yaptığı açıdır. Şekil 1.4'te gökyüzündeki güneş pozisyonu $41,6^\circ$ enlemine göre gösterilmiştir. Güneş yükseklik açısı ve azimuth açısı tarih ve zamanlara göre çizelgeye eklenmiştir. Şekil 1.4'te görülebileceği gibi, güneşin yüksekliği aralık ayında minimum miktarına ve haziran ayında maksimum miktarına ulaşır (Deceased ve Beckman, 1974).



Şekil 1.4: Güneş azimuth açıları (URL-6, 2013).

1.4.3 Güneş Enerji Terimleri

Hava kütlesi m , direkt Güneş radyasyonunun en üst noktada (zenith) seyrinde atmosferden itibaren izlediği yolun uzunluğudur. Bu nedenle güneş deniz seviyesinde (zenith açısında) $m=1$ ve zenith (θ_z) 60° olduğunda $m=2$ dir. Deniz seviyesinde 0° den 70° ye kadar olan zenith açıları için (Eşitlik 2),

$$m = \frac{1}{\cos \theta_z} \quad (2)$$

Daha yüksek zenith açıları için, dünyanın eğriliğinin etkisi önemli hale gelir ve dikkate alınmalıdır (Robinson, 1966; Kondratyev 1965; 1969).

Işın demeti, ışın radyasyonu genellikle doğrudan güneş radyasyonu olarak adlandırılır; doğrudan ve dağınık gelen ışınlar arasındaki karışıklığı önlemek için, ışın demeti terimi kullanılmaktadır (Duffie ve Beckman, 2013).

Difüz Radyasyonu, bazı meteoroloji literatüründe, gökyüzü radyasyonu veya güneş ışığı radyasyonu olarak adlandırılır; yaygın güneş ışınımını atmosfer tarafından yayılan kızılötesi radyasyondan ayırt etmek için kullanılmaktadır (Duffie ve Beckman, 2013).

Toplam Güneş Radyasyonu, Bir yüzeydeki doğrudan gelen ve dağınık güneş radyasyonu toplamı.

Işınım, birim yüzeye gelen güneş radyasyon miktarıdır (W/m^2). G sembolü ile ifade edilmektedir (Duffie ve Beckman, 2013).

Işınlanma ya da ışınlama miktarı (J/m^2), bir yüzeydeki birim alan başına düşen enerji, belirli bir süre boyunca ışınlamanın entegrasyonu ile bulunur, genellikle bir saat veya bir gündür (Duffie ve Beckman, 2013).

Işımsallık, salınım, yansıma ve iletimin oluşturduğu kombinasyon da ışın enerjisinin bir yüzeyin birim alanından ayrılmasının oranı (W/m^2) (Duffie ve Beckman, 2013).

Güneş Zamanı, güneşin gökyüzünde bir açıyla görünür bir şekilde dolaştığı zaman dilimidir (Garg, 1982) .

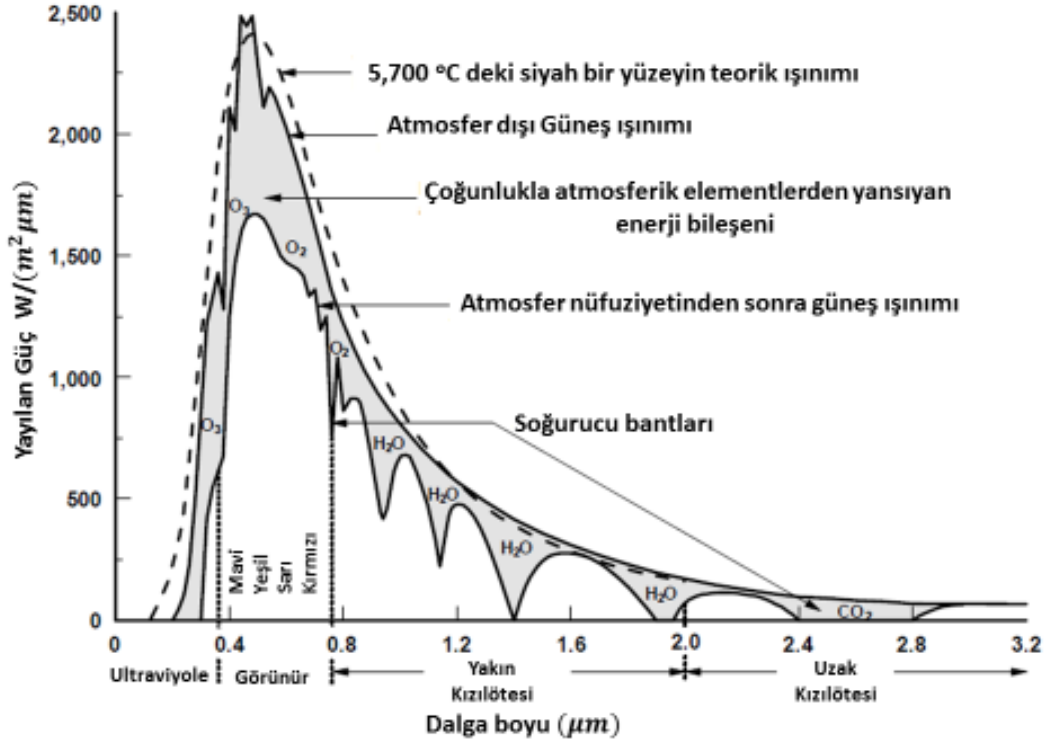
1.4.4 Güneş Spektrum Aralığı

Yeryüzüne gelen radyasyon miktarının atmosferde zayıflaması nedeniyle güneş ışığının enerji dağılımı spektrumu değişmektedir. Şekil 1.5, dünya atmosferinden geçmeden önce ve sonra güneş radyasyonu spektrumunu göstermektedir.

Dünya atmosferindeki radyasyon miktarının zayıflamasından dolayı, dünyaya ulaşan güneş radyasyonunun enerji dağılımı aşağıdaki özellikleri göstermektedir (Liljequist ve Cehak, 1984).

1. Maksimum enerji, 0,5 ile 0,6 μm arasında (yeşilden sarı ışığa) görünür spektral aralıktadır.
2. Düşen bir dalga boyuyla (yani ultraviyole spektrumunda) yayılan güç hızla azalır.
3. Artan bir spektral aralık ile (yani kızılötesi tayfta) radyasyon daha yavaş düşer.

4. Bazı spesifik dalga boyları, enerji dağılımı eğrisinde (karanlık aralıklar) derin kesikler gösterir. Güneş ışığının atmosferdeki seçilmiş elemanlar tarafından seçici olarak emilmesinden kaynaklanırlar (Liljequist ve Cihak, 1984).

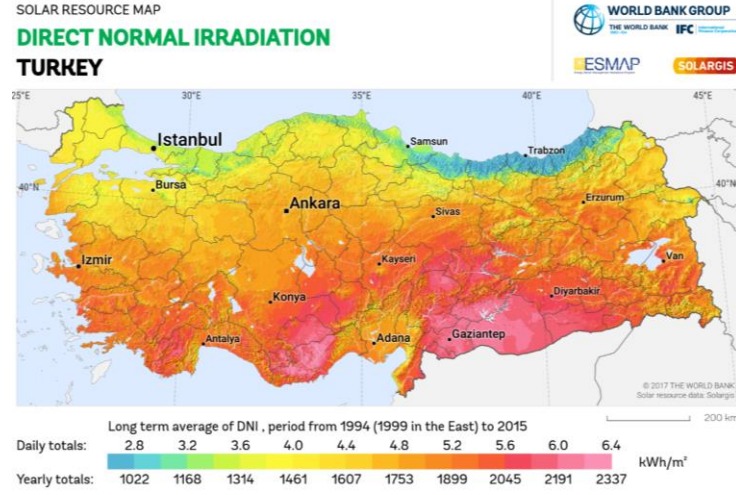


Şekil 1.5: Atmosferden geçmeden önceki ve sonraki güneş ışınımının enerji dağılımı spektrumları (Şen, 2007).

1.4.5 Türkiye Güneş Enerji Potansiyeli

Güneş enerjisi ile ilgili hesaplamalar yapılırken güneş ışığının dünyaya düşme şekline göre değişik şekillerde isimlendirmeler yapılmaktadır. Bunlar, doğrudan ışınım, yayılmış ışınım, küresel ışınımdır.

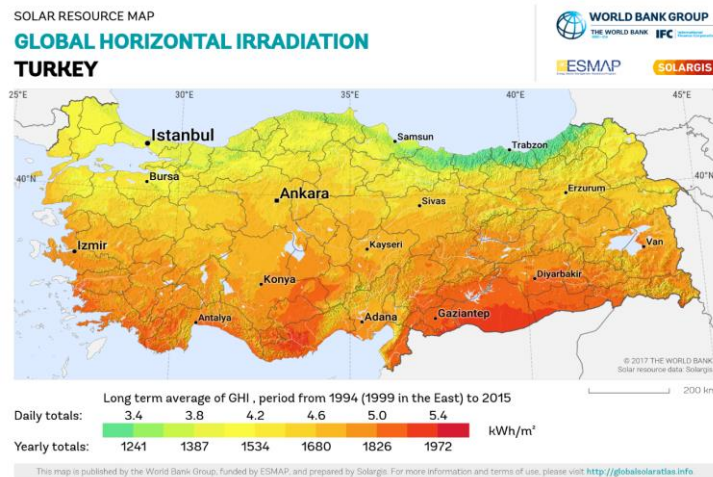
Doğrudan Işınım: Güneşten direkt olarak gelen ışınımdır. Özellikle yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri ve güneş enerjisinden ısı edilmesi hesaplamalarında kullanılmaktadır (Engin, 1995). Şekil 1.6'da Türkiye üzerine gelen doğrudan ışınımı göstermektedir.



Şekil 1.6: Normal ışınım (URL-7, 2013).

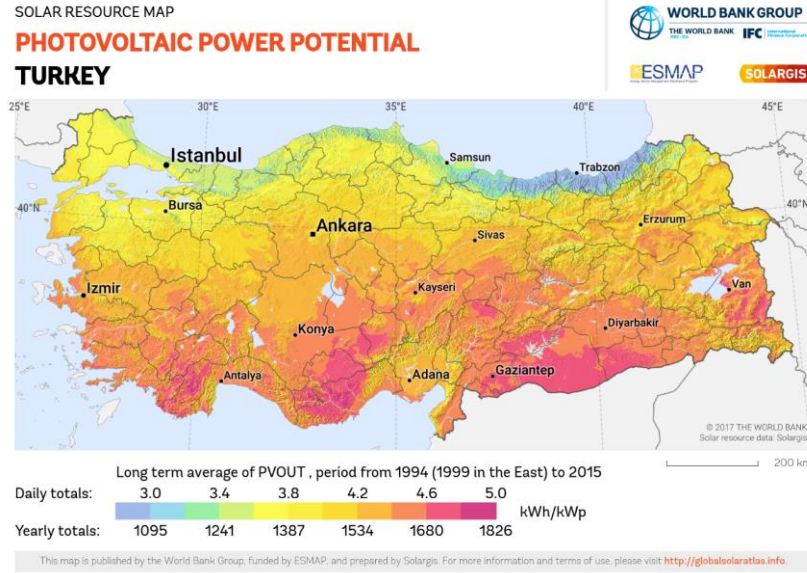
Yayılmış Işınım: Belirli bir yönü ve doğrultusu olmayan güneş ışınımına dolaylı ışınım denir (Engin, 1995). Dolaylı ışınımın sebebi güneş ışınımının atmosferden geçerken su buharı ya da toz parçacıkları tarafından saçılmasıdır (Enarun, 1987). Bu ışınım değeri ise atmosferden yansıyan ışınım ile yer yüzeyinden yansıyan ışınım miktarını içermektedir (Enarun, 1987).

Küresel Işınım: Doğrudan ve yayılmış ışınımın toplamı olup PV sistem hesaplamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Jackson, 2008). Şekil 1.7’de Türkiye’ye gelen küresel ışınım miktarı gösterilmektedir.



Şekil 1.7: Küresel ışınım (URL-7, 2013).

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi bakımından yüksek verilere sahiptir. Türkiye'nin Güneş enerjisi potansiyeli atlasına (GEPA) göre (Şekil 1.8), yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün) olduğu tespit edilmiştir (URL-8, 2012).



Şekil 1.8: Fotovoltaik güç potansiyeli (URL-7, 2013).

1.5 Güneş Enerji Dönüşüm Teknolojileri

Güneş enerjisi enerjinin elektrik, kimyasal ve termal formuna dönüştürülebilmektedir. Elektrik üretmek için kullanılan enerji-dönüşüm teknolojilerini ve güneş enerjisi tahmini ve kaynak değerlendirmesi ilgili yönlerini kısaca özetlenmektedir. Bu enerjiyi kullanabilmek için güneş enerji toplayıcıları ve güneş hücreleri (fotovoltaik) gibi birçok teknoloji geliştirilmiştir.

1.5.1 Isıl Güneş Teknolojileri ve Odaklanmış Güneş Enerjisi (CSP)

Güneş enerjisinden ısı elde edilen bu sistemlerde, ısı doğrudan kullanılabilir gibi elektrik üretiminde de kullanılabilir. Güneş enerjisi toplayıcıları Tablo 1.2'de de gösterildiği gibi temel olarak hareketleri, yani sabit, tek eksenli izleme, iki eksenli izleme ve çalışma sıcaklığı ile ayırt edilebilmektedir (Kalogirou, 2004).

Tablo 1.2: Güneş enerji toplayıcıları (Tyagi vd., 2012)

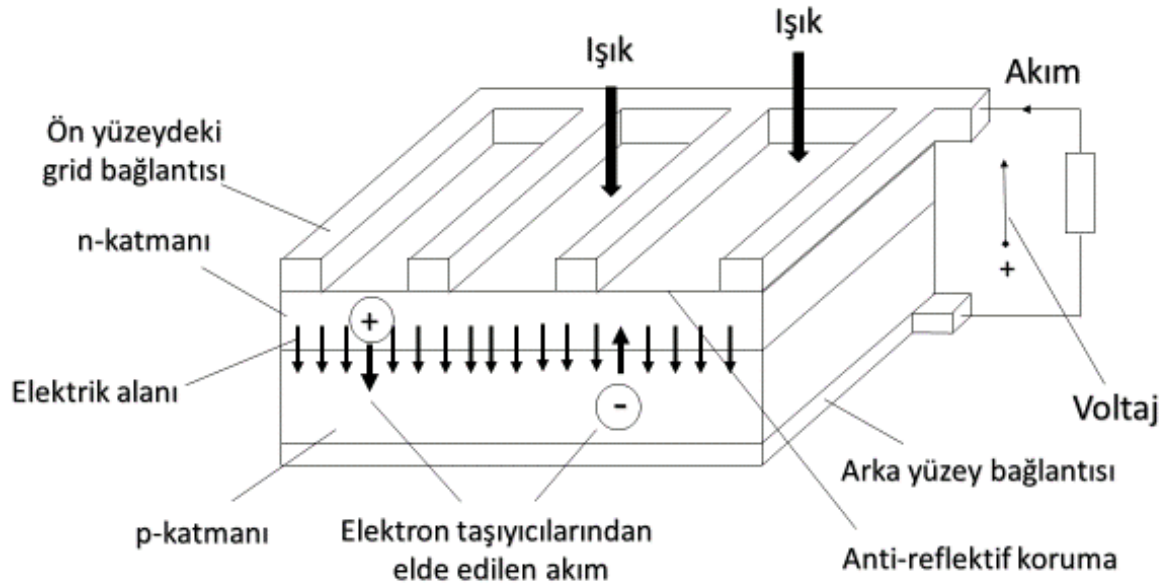
<i>Sistem</i>	<i>Kollektör Çeşiti</i>	<i>Alıcı Şekli</i>	<i>Yoğunlaştırma Oranı</i>	<i>Sıcaklık Aralığı [°C]</i>
<i>Sabit</i>	Düz Plaka Tipli Kollektör (FPC)	Düz	1	30-80
	Vakumlanmış Tüp Tipli Kollektör (ETC)	Düz	1	50-200
	Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı (CPC)	Boru Şeklinde	1-5	60-240
<i>Tek eksenli izleme</i>	Doğrusal Fresnel Yansıtıcı (LFR)	Boru Şeklinde	10-40	60-250
	Prabolik Oluklu Kollektör (PTC)	Boru Şeklinde	15-45	60-300
	Silindirik Oluklu Kollektör (CTC)	Boru Şeklinde	10-50	60-300
<i>İki eksenli izleme</i>	Parabolik Çanak Reflektör (PDR)	Noktasal	100-1000	100-500
	Heliostat Tipli Kollektör (HFC)	Noktasal	100-1500	150-2000

Not*: Konsantrasyon oranı, toplayıcının alıcı / absorbe edici alanı ile bölünen açıklık alanı olarak tanımlanır.

1.5.2 Fotovoltaik Teknolojisi

Fotovoltaik PV güneş elektrik sistemleri, yarı iletken malzemelerden yapılmış olup, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirirler (Şekil 1.9). Güneş pili olarak bilinen fotovoltaik, güneş ışığını doğrudan tek bir diyot bağlantısı yardımı ile (veya birden fazla diyot) elektriğe çevirir (Fahrenbruch ve Bube, 1983). Güneşten gelen ışık foto taşıyıcılarıyla etkileşim haline geçtiği zaman; cihaz içindeki bu foto taşıyıcılar bir fotovoltaj üretmekte ve cihaz içinde oluşan yük hareketi, diyot bağlantısının ters yönünde uzanan bir fotoakımı üretmektedir. Uygun bir şekilde eşleştirilmiş direnç yükü ile fotovoltaik cihazların birleştirilmesinden elektriksel güç elde edilmektedir. Bir güneş modülünün şematik olarak kesit alanı ve güneş hücrelerinin eşdeğerlilik devresi Şekil 1.9'da gösterilmiştir. Bir güneş pilinin performansı, bir diyotun ne kadar iyi foto-akım üretilabileceğine, üretilen foto-akımın ne kadar etkili bir şekilde toplanacağına, cihazda ne kadar foton enerjisinin korunacağına ve malzemedeki kusurlardan ne kadar güç kaybına uğradığına göre belirlenir (Luque ve Hegedus, 2003).

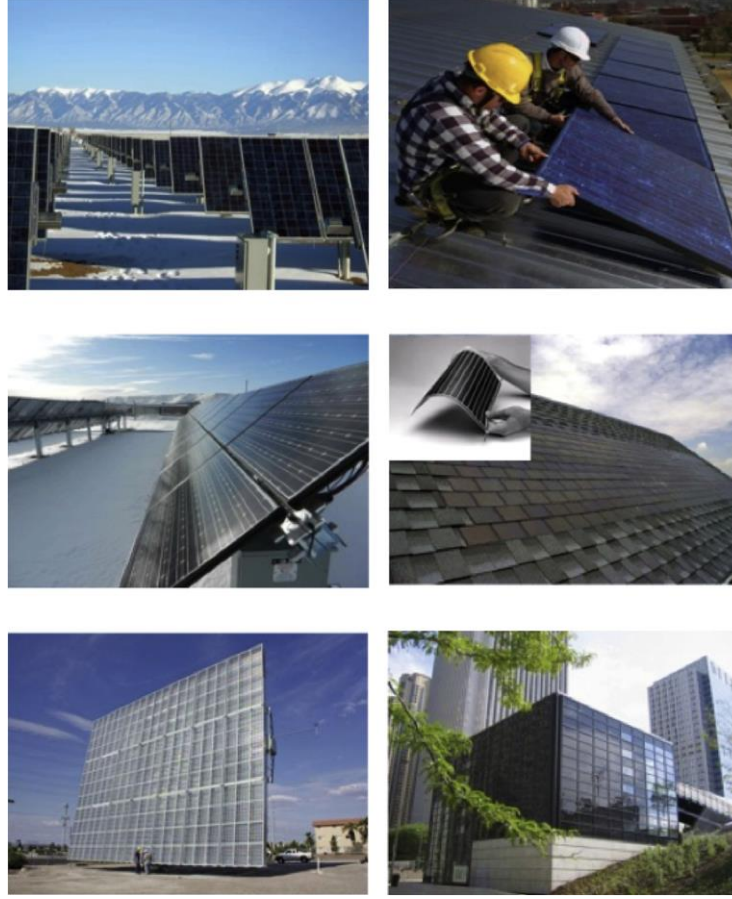
Güneş pilleri genel olarak silikon gibi yarı iletken malzemelerden üretilmektedir. Yarı iletkenleri en yararlı kılan özelliklerinden bir tanesi de iletkenliklerinin, kristal kafes yapılarına madde ilavesiyle kolayca değiştirilebilmesidir. Örneğin, bir fotovoltaik güneş pilinin imalatında, dört değerliğine sahip olan silisyum, iletkenliğini arttırmak için kullanılır. Hücrenin diğer tarafındaki beş değerlikli elektrona sahip (n-donör) fosfor atomları silikon malzemeye zayıf bağlanmış değerlik elektronları bağ oluştururlar. Böylece negatif bir akım oluşmaya başlar.



Şekil 1.9: Fotovoltaik pilin çalışma prensibi.

Fotoelektrik etki tarafından direkt olarak güneş ışıklarını elektriğe dönüştüren ilk fotovoltaik sistem 1887’de Heinrich Hertz tarafından incelenmiş ve 1905 yılında Albert Einstein tarafından açıklanan yarı iletken materyalleri kullanılarak sistem oluşturulmuştur. Fotoelektrik etki tarafından üretilen belli bir miktar elektrik, yarı iletken kompozisyonunun, yoğunluğunun ve PV’ye gelen güneş radyasyonu dalga boyunun bir fonksiyonudur. (Hertz, 1887; Einstein, 1905). 1954 yılında Bell Laboratuvarları’ndaki üç araştırmacı, güneş radyasyonunun %6’sını elektriğe dönüştüren ilk pratik “güneş pili” PV hücresini geliştirmiştir (Perlin, 2004). PV cihazlarının araştırma ve geliştirilmesindeki ilerlemeler sürekli olarak artmaktadır ve Dünya’da PV kullanımını %43,5 seviyelerine kadar artırmıştır. Başlangıçta, watt değerlerinde ölçülen toplam üretim kapasitelerine sahip uzay uygulamaları için kullanılan yüksek değerli bir elektrik kaynağı olan küresel PV endüstrisi, şu anda 40 GW’dan fazla kurulu bir kapasite sağlamakta ve yılda yaklaşık %25 oranında

büyümektedir (REN21, 2011). PV teknolojileri, sabit bir eğimdeki paneller, güneşi takip eden sistemler, binalara entegre edilmiş olan PV sistemler ve CPV sistemler için çeşitli geometrilerdeki yoğunlaştırıcılara sahip tasarımlar kullanılmaktadır (Şekil 1.10).



Şekil 1.10: Çeşitli uygulamalarda elektrik üretmek için ticari olarak temin edilebilen PV sistemlerinin örnekleri (URL-9, 2011).

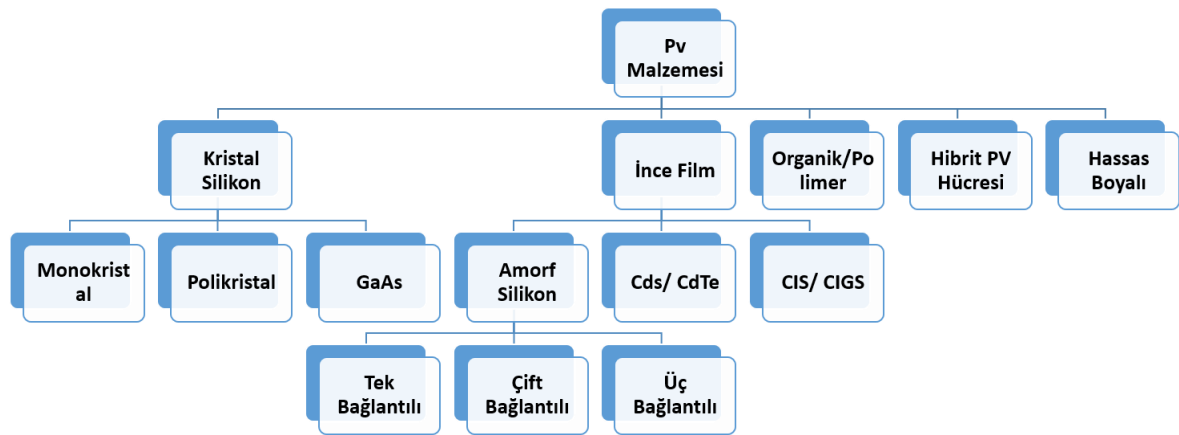
Bu yoğunlaştırıcı tasarımlarının ve bu konuya olan yönelimlerin her biri için mevcut olan güneş ışınması miktarı, işletim sistemi performansını tahmin ederken özellikle dikkat edilmesi gereken bir parametredir. PV sistemleri güneş radyasyonu değişikliklerine çok hızlı yanıt vermektedirler (tek tek hücreler için kalma süresi $\sim 10 \mu s$ 'dir). Bu nedenle, güneş ışınımındaki geçici değişiklikler, en kararlı güç çıkışını sağlayabilen bir PV sistemi tasarlamak ve işletmek için karakterize edilmelidir.

Bu sistemlerde; yakıt sorunu olmaması, işletme kolaylığı sağlaması, mekanik yıpranma olmaması, modüler bir yapıya sahip olması, uzun yıllar sorunsuz olarak çalışabilmesi, elektrik arz güvenliğinin sağlanması, ithal yakıt bağımlılığının azaltılması, uzak olan yerleşim yerlerinde yaşayan kırsal toplulukların elektrikleendirilmesine ivme kazandırması

gibi pek çok avantajı bulunmaktadır. Bununla birlikte en önemli noktalarından biride PV’ den üretilen her kWh için 0,6 kg CO₂ emisyonu azalmaktadır (Dinçadam, 2008).

1.5.3 Yapısına Göre Güneş Piller

Silikon, yüksek verimliliğinden dolayı güneş pili yapımında en çok kullanılan teknolojidir. Ancak, yüksek maliyeti nedeniyle, çoğu araştırmacı güneş pili üretirken malzeme maliyetini azaltmak için yeni teknoloji bulmaya çalışmaktadır. Bugüne kadar, ince film teknolojisi uygun bir teknoloji olarak görülebilir (Cann vd., 2001). İnce film teknolojisinde daha az malzeme kullanması, hücreyi oluşturacak tabakaların mono- ve polikristalin güneş piline kıyasla çok daha ince olması düşük maliyetinin arkasındaki göstergelerdir. Böylece imalat maliyetinin düşürmektedir. Bununla birlikte, bu teknoloji tabanlı güneş pilinin verimliliği silikon kristal hücrelere göre düşüktür. İnce film teknolojisi altında üç malzemeye; amorf silikon, CdS / CdTe ve CIS üzerinde, verimliliği artırmak için sürekli olarak daha fazla çaba harcamaktadırlar. Bununla birlikte, bu materyallerin tümü çevre üzerinde bazı olumsuz etkilere sahiptir (Chaar vd., 2011). İnce film teknolojisine başka bir çözüm ise güneş pili yapımında polimer veya organik bir malzeme kullanarak araştırmacılar tarafından gerçekleştirilmiştir. Polimer malzemelerin düşük maliyetli, hafif ve çevre dostu olması gibi birçok avantajı vardır (Gorter ve Reinders, 2012). Tek sorun, sadece %4-5 oranda diğer malzemelere kıyasla çok düşük verimliliğe sahip olmasıdır (Chaar vd., 2011). Güneş pili üretimi için materyallere genel bakış Şekil 1.11’de verilmiştir.



Şekil 1.11: Fotovoltaik yapımında kullanılan malzemelerin listesi.

1.5.3.1 Kristal Malzemeler

Kristal silikon bazlı güneş pili diğer tüm güneş pili materyallerine kıyasla en yüksek verime sahiptir. Silikon kolayca bulunabilir, çünkü dünyada bulunabilecek en kolay ikinci ham maddedir. Kristalli malzemelerin kısa bir özeti aşağıda verilmiştir.

1.5.3.1.1 Monokristal Hücreler

Bu tip malzemeler, polikristal hücrelere kıyasla %15 oranında daha yüksek verime sahip olduğundan PV hücrelerinin geliştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer türdeki güneş pili materyalleri arasında, monokristalin güneş pili, % 20'den fazla olan en yüksek verimliliğe sahiptir. Üreticilerinden gelen verimlilik talebi, normal olarak % 15 ila % 17 arasındadır (URL-9, 2011). Monokristal silikonun çoğu Czochralski işlemi kullanılarak geliştirilmiştir (URL-9, 2011). Bu işlemde, yüksek saflıkta yarı iletken sınıftaki silikon genellikle kuvarstan yapılmış bir pota içinde eritilir. Borun veya fosfor atomları, silisyumun iyice karıştırılması için erimiş silikona eklenir, böylece bir n-tipi veya p-tipi silikon haline getirilir. Bu, silikonun elektronik özelliklerini etkiler (URL-10, 1998).

1.5.3.1.2 Polikristal Hücreler

Polikristal hücre, PV modülünü geliştirmek ve maliyetini azaltmak için uygun bir malzemedir (Becker vd., 2011). Her ne kadar polikristal hücreler, monokristal hücreye kıyasla metal kirlenmesinde ve kristal yapısında düşük kusurlara sahip olmasına rağmen, bu tip hücrelerin etkinliği monokristal hücreler ve diğer gelişmekte olan materyallere kıyasla düşüktür (Manna ve Mahajan, 2007). Polikristalin, silisyumun eritilmesiyle ve kristalleri sabit bir yönde yönlendirmek üzere katılaştırılarak ince bir tabaka haline getirilerek oluşturulur (URL-11, 2001).

1.5.3.2 Galyum Arsenit (GaAs)

GaAs, galyum (Ga) ve silikon gibi benzer yapıya sahip arsenik (As) birleşiminden oluşan bir yarı iletken formdur. Silikon bazlı güneş pilleri ile karşılaştırıldığında, GaAs yüksek verime sahiptir ve kalınlığı da daha azdır. GaAs için bant boşluk enerjisi 1,43 eV'dir. GaAs güneş pilinin verimliliği, Al, In, P ve Sb gibi belirli malzemelerle alaşımlaştırılarak

artırılabilir (Satyen, 1998). GaAs normalde yoğunlaştırıcı PV modülü ve yüksek ısı direncine sahip alan uygulamalarında kullanılır (URL-12, 2001). Ayrıca, GaAs, polikristal ve monokristal silikon ile karşılaştırıldığında daha hafiftir (Iles, 2001). GaAs malzemesi ve üretimi maliyetli olabilir (URL-12, 2001).

1.5.3.3 İnce Film Güneş Hücreleri

Kristal silikon bazlı güneş pilleri ile karşılaştırıldığında, ince film teknolojisi az malzeme ve daha az üretim işlemi kullandığı için daha az pahalıdır. Daha az malzeme kullandığı için, bu teknolojiye üretilen güneş pili çok incedir. Bu da yaklaşık 35–260 nm'dir (Vrieling vd., 2012).

1.5.3.3.1 Amorf Silikon

İnce film teknolojisinde, amorf silikon, etkinliği nedeniyle CIS / CIGS ve CdS / CdTe gibi diğer malzemelere kıyasla çok daha fazla kullanım alanına sahiptir (Parida vd., 2012). Amorf silikon, düzensiz yapıda bulunan silikon olmayan bir kristalin formudur ve monokristal silikon ile karşılaştırıldığında 40 kez daha yüksek ışık emiciliğine sahiptir (URL-12, 2011). Rastgele yapısının avantajı, 1,7 eV olan yüksek bant aralığı sağlar (Boutchich vd., 2012). Radue vd. (2009) makalelerinde, tek bağlantı amorf silikonu, üçlü bağlantı amorf silikonu ve esnek üçlü bağlantı amorf silikonu göz önüne alarak bu üç amorf silikon teknolojisinin bozulması analiz etmiş ve her malzemenin sırasıyla %45, %22 ve %27 oranında bozulduğu bulunmuştur.

1.5.3.3.2 Kadmiyum Tellür (CdTe) ve Kadmiyum Sülfat (CdS)

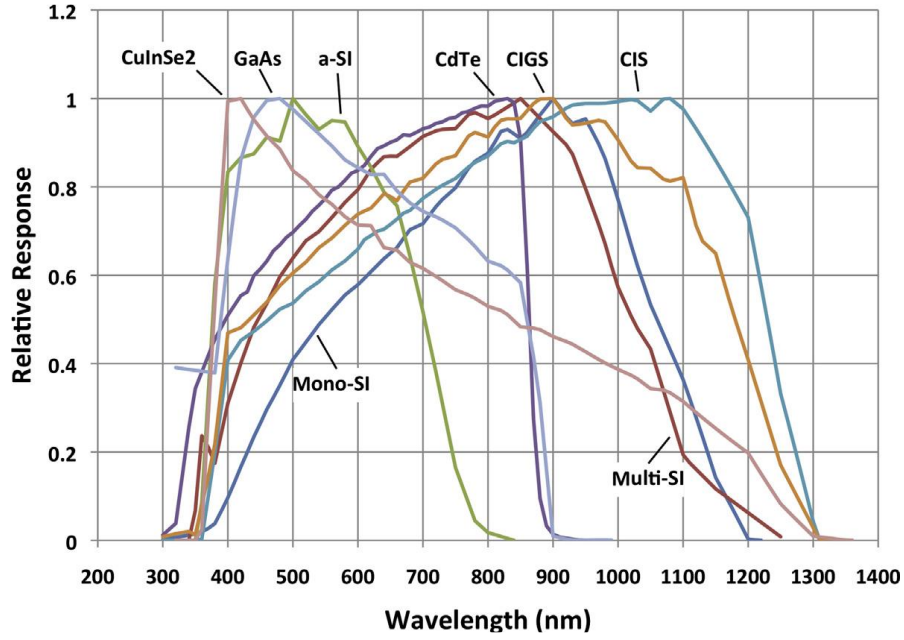
Bu malzeme %15 oranlarına kadar yüksek verim üretebilir. Ayrıca soğurma katsayısının yüksek olması nedeniyle ideal bir bant aralığı (1,45 eV) sahiptir (Britt ve Ferekides, 1993). CdS / CdTe güneş pili üretme işlemi, iletken bir cam alt-tabakanın üzerine ince CdS tabakasının buharlaştırılması, ardından kalın bir CdTe tabakasının CdS tabakası üzerine buharlaştırılması ve iletkenliği sağlamak için metal bir temas tabakasının biriktirilmesinden oluşur. Hücre CdCl₂ eriyiği ile yaklaşık 450° C'lik bir sıcaklıkta kısa bir sürede yarı iletkenlerin kristalizasyonuna ve bu, aynı işlemde CdS'nin bakır katkısına izin verir (Hegedus ve Candless, 2005). CdS / CdTe ayrıca daha uzun bir süre için stabil olarak

çalışabilirler (Boer, 2011). Ancak, bu teknoloji çevre ile alakalı ve Tellür (Te) hammaddesinin bulunma zorluğu gibi bazı problemlerle karşı karşıyadır (URL-13, 2004). 1950'lerden 1960'lara kadar yapılan deneylerden yola çıkılarak, bakır katkılı CdS'nin n-tipi yarı iletken kısmı oluşturduğu için foto iletken olduğu sonucuna varılmıştır (Boer, 2011). Bununla birlikte, CdTe solar hücre karakteristiğini geliştirerek daha iyi hücreler üretmek için Soliman vd. (1996) kimyasal ısıl işlemin gerekli olduğunu kanıtlayan bir deney yapmışlar.

1.5.3.3 Bakır İndiyum Galyum Selenit / Bakır İndiyum Selenit

Bakır, indiyum ve selenyum elementlerinin üçlü birleşiminden oluşmaktadır. Bu malzeme halen yeni bir teknoloji olduğu için gelişme aşamasındadır. Yapılan çalışmalar sonucunda modüller için %13 ve hücre için %20' lik bir verimlilik oranı kaydedilmiştir (Repins vd., 2008). Bant aralığı 1,68 eV kadar yüksek olabilmektedir. Radue vd. (2009) CIGS güneş pili performansını ve ömrünü değerlendirmek için bir deney gerçekleştirmişlerdir. Deney kapalı (STC altında) ve açık bir ortamda dört ay boyunca gerçekleştirilmiştir. Meyer ve Van Dyk (2003) ayrıca CIS ve diğer ince film malzemelerinin performansını incelemek için bir deney yapmışlardır. Sonuç olarak CIS verimi sadece 130 kWh / m²'lik bir açık hava maruziyetinden sonra diğer ince film malzemelerine kıyasla % 10 oranında azalmıştır.

Fotovoltaik hücreler, tek ve çok kristalli silikon (en yaygın), amorf silikon, mikro kristalli silikon veya kadmiyum tellür (CdTe) ve bakır indiyum galyum diselenide (CIGS) gibi polikristalin ince film malzemelerine dayanmaktadır. Çoklu birleştirme olan PV hücreleri, en yüksek enerji dönüşümü verimliliğine ulaşmaktadır. 2012'nin sonlarında, PV hücre verimliliği için en çok bir GaInP / GaAs / GaLnNAs (Sb) için % 43,5 olduğu gözlenmiştir (Kurt, 2012). Elektrik gücü çıkışını tahmin etmek için, her bir PV teknolojisi, geniş bant miktarı ve hücre tipi için mevcut güneş ışınlarının spektral dağılımı hakkında özel bilgi gerektirir (Şekil 1.12). PV hücrelerinin performansı çeşitli çevresel faktörlere bağlı olduğundan, güneş ışınlarının spektral dağılımı için standartlar dahil olmak üzere referans test koşullarına dayanan PV modülleri için standartlar geliştirilmiştir (Myers, 2011). Bazı firmalar tarafından üretilen güneş hücreleri modül yapısına göre verimlilikleri Tablo 1.3'te verilmiştir.



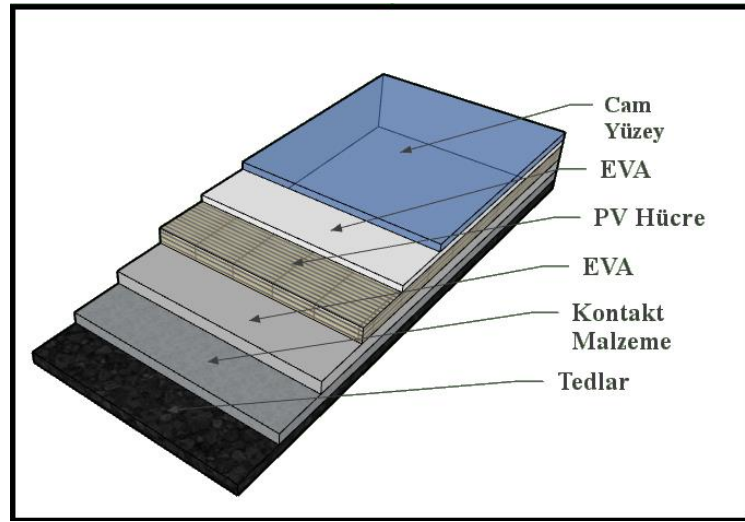
Şekil 1.12: Güneş ışınımını elektriğe çevirmek için seçici yeteneklerini gösteren seçilmiş PV malzemelerinin spektral tepki fonksiyonları

Tablo 1.3: Modül verimliliklerine göre dünya genelindeki bazı PV üreticileri

Firma	Modül Tipi	Verim	Referans
Suntech Power	Monokristal	% 15	URL-14, 2011
	Polikristal	% 14	
Yingli solar	Monokristal	% 15- % 16	URL-15, 2010
	Polikristal	% 14- % 15	
Trina solar	Monokristal	% 14- % 15	URL-16, 2008
	Polikristal	% 13- % 15	
Canadian solar	Monokristal	% 13- % 15	URL-17, 2008
	Polikristal	% 12- % 14	
Sharp	Monokristal	% 14	URL-18, 2010
	Polikristal	% 10	
Hanwha solar one	Monokristal	% 13- % 15	URL-19, 2009
	Polikristal	% 13- % 15	
Jinko solar	Monokristal	% 14- % 15	URL-20, 2007
	Polikristal	% 14- % 15	
LDK solar	Monokristal	% 14- % 15	URL-21, 2007
	Polikristal	% 13- % 15	
Solar world	Monokristal	% 14	URL-22, 2009
	Polikristal	% 14	

1.6 Fotovoltaik Panel Bileşenleri

PV panelin ısıl kapasidansını ve ısıl direncini belirlemek için panelin herbir katmanını sırayla belirlenmelidir. PV panel kullanılan fotovoltaik teknolojisine bağlı olarak farklı katmanların çeşitli birleşiminden meydana gelmektedir. Genel olarak PV panel altı ana katmandan meydana gelmektedir. Bunlar: Cam kaplama, yansıtıcı olmayan kaplama (ARC), PV hücreleri, etil vinil asetat (EVA) katmanı, metal arka yüzey ve Tedlar (PVF). Bu katmanlar, panel alanına göre düşük yüzey alanına sahiptir bu yüzden sıcaklık tepkisi üzerinde önemsiz bir etkiye sahip olduğu için, etkileri dahil edilmeyen metal bir çerçeveye yerleştirilmiştir (Jones ve Underwood, 2001). Bahsedilen katmanlar kısaca Şekil 1.13'te açıklanmaktadır.



Şekil 1.13: Fotovoltaik yapısını oluşturan malzemeler

Cam Kaplama: PV paneldeki cam kaplama mukavemeti arttırmak için hızlı bir soğutma ve ısıtma işleminden geçen temperlenmiş camdan yapılmaktadır. PV camı diğer geleneksel camlardan farklıdır. Binalar için kullanılan cam, örneğin binadan ısı ve parlaklığı tutmak için az geçirgenliğe sahiptir. Ancak, PV paneller için kullanılan cam ultra temiz, yüksek geçirgenlik oranı ve düşük demir içeriği ile olabildiği kadar güneş ışığını açığa çıkarır.

Yansıtıcı olmayan kaplama (ARC) : Silikon gelen ışınımın %35'ini yansıtabilir. Buna karşı koymak için, giren fotonları hücrelerin alt katmanlarına kanalize eden ve genellikle yalnızca nanometre kalınlığında bir ARC uygulanır (silikon nitrit).

Fotovoltaik (PV) hücre: Fotovoltaik hücre, fotovoltaik teknolojisinin temel yapı taşıdır. Güneş pilleri genel olarak silikon gibi yarı iletken malzemelerden üretilmektedir. Yarı iletkenlerin onları en yararlı kılan özelliklerinden bir tanesi de iletkenliklerinin, kristal kafes yapılarına madde ilavesiyle kolayca değiştirilebilmesidir. Bu madde ilavesi ile farklı tiplerde ve kalınlarda hücreler bulunmaktadır (Armstrong ve Hurley, 2010).

EVA Katmanı: PV hücreleri, cam kaplamaya PV hücrelerini ve arka kapsül malzemesine yapıştırmak (bağlamak) için ve elektrik yalıtımı ve nem direnci sağlamak için bir etil vinil asetat (EVA) katmanı ile kapsüllenmektedir (Armstrong ve Hurley, 2010).

Metal Arka Yüzey: Tam metal teması, arka yüzey üzerine bir metal pasta serigrafisi ile PV hücrelerinin ters tarafında yapılır.

Tedlar Polimer Katmanı: Polimer katman polivinil flor' dan (PVF) yapılmaktadır. Bu katman fotoseldir ve PV katmanları için ek yalıtım ve nem koruması sağlar (Armstrong ve Hurley, 2010).

1.7 Panel Performansını Etkileyen Faktörler

Beş tane ana faktör fotovoltaik panelin çıkış performansına etki etmektedir. Bunlar: yük direnci, güneş radyasyonunun yoğunluğu, hücre sıcaklığı, gölgelenme ve pili oluşturan kristal yapıdır.

1.7.1 Yük Direnci

Bir şarj veya batarya paneli çalıştıracak olan voltaj değerini belirler. Örneğin 24 V nominal akünün voltajı genellikle 23 ve 28 V arasındadır. Şarj etmek için kullanılan bu akülerde, paneller bataryanın çalışılabildiği voltajın biraz daha üzerinde çalışmalıdır. PV sistemleri maksimum güç noktasına yakın voltajlarda çalışmalıdır. Eğer bir yükün direnci bir panelin I-V performansı ile uygun şekilde eşleşirse, panel maksimum güç noktasında ya da yakın bir noktada çalışacak ve böylece en yüksek verim elde edilecektir. Yükün direnci arttıkça, güneş paneli verim ve akım değerleri düştüğünden dolayı maksimum güç noktasından daha yüksek bir voltajda çalışacaktır. Bu nedenle, yükün gerilim ve akım işletme

gereksinimlerini sürekli olarak eşleştirmek için maksimum güç noktasını izleyen bir kontrol cihazı kullanılmalıdır.

1.7.2 Güneş Işınımı

Güneş ışınımı fotovoltaik verimi doğrudan etkileyen parametrelerden biridir. Işınım miktarı arttıkça alınan voltaj değeri artacaktır.

1.7.3 Gölgeleme

Fotovoltaik panellerin kısmi gölgeleme bile verimde önemli derecede bir azalmaya sebep olmaktadır. Eğer bir hücre bile gölgelenirse, modül (belli miktarda hücre içeren) çıkışı %75 oranında azalmaktadır.

1.7.4 Kirlilik

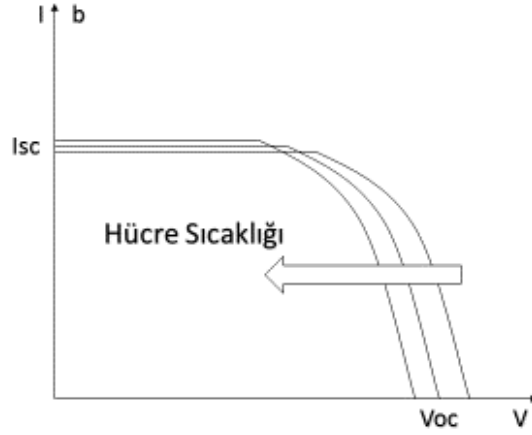
Fotovoltaik sistemlerin zamanla kirlenmesi gelen güneş radyasyonlarının daha az bir şekilde soğurulup, camın geçirgenliğinin zamanla azalmasına sebep olmaktadır. Kirlenen fotovoltaik çıkış gücünde azalmaya dolayısıyla verimin azalmasına neden olur.

1.7.5 Hücre Sıcaklığı

Hücre sıcaklığının standart çalışma sıcaklığı 25° C üzerine çıktığında güneş paneli daha az verimle çalışmaktadır ve gerilim düşmektedir. Bu sebeple ısı, elektronların akışına direnç olarak düşünülebilir. 80 C ve 90 C arasındaki sıcaklıklardaki bir panel, artan her bir derecede %0,5 verim kaybeder. Bu yüzden üsteki hava akışı ve alttaki panel ısıyı gidermek için kritiktir. Bu nedenle ısıyı giderebilen montaj planı önemlidir. Aküsü olmayan güneş sisteminde sıcaklık artışı fark edilebilir.

Fotovoltaik güneş pilinin verimliliğinin sıcaklık artışı ile azaldığı ve yoğun güneş ışığı veya tropik koşullar gibi yüksek aydınlatma olan bölgeler de sistem için soğutmanın gerekli olduğu kabul edilmektedir. Sıcaklık, PV veriminin azalmasına ve çıkış gücüne etki eden en önemli parametredir. Sıcaklık arttıkça bant boşluğu büzülür, büzülmeden dolayı açık devre gerilimi düşer (Shenck, 2010). Bu süre zarfında, daha fazla geliş ışını

soğurulduğundan, enerji bandı taşıyıcı banttan iletim bandına kadar yükselir (Dinçer ve Meral, 2009).



Şekil 1.14: Fotovoltaik hücre üzerinde sıcaklığın etkisi

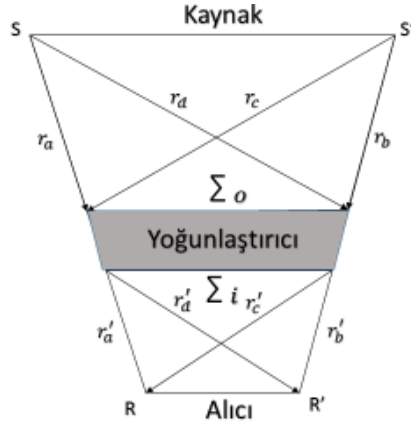
Fotovoltaik hücre üzerinde sıcaklığın karakterizasyona etkisi Şekil 1.14'te gösterilmektedir (Kalogirou, 2009). Sıcaklık etkisi, polikristal silikon ve ince film güneş pilleri ile karşılaştırıldığında monokristal silikon üzerinde daha yüksek etkiye sahiptir. Monokristal silikon güneş piline göre ince film güneş pili için verimlilik %15 'ten %5'e oranına kadar azalmaktadır (Kumar ve Rosen, 2011). Singh ve Ravindra (2012) 273–523 K sıcaklık aralığında güneş pili performansının sıcaklığa bağlı etkisi ayrıntılı bir çalışma yaptılar. Sıcaklığa bağlı üç durum için verimlilik hesaplayarak ters doyma akımının arttığını ve bu nedenle doluluk faktörünün ve açık devre voltajının (V_{oc}) azaldığını, dolayısıyla güneş pilinin verimliliğinin de azaldığını gözlemlemişlerdir. Aynı zamanda, artan sıcaklıkla azalan bant boşluğu, hücrenin verimliliğini arttırmak için kapalı devre akım yoğunluğu (J_{sc})'nda artışa neden olmaktadır. Bu nedenle, V_{oc} değerinin azalması ve J_{sc} 'nin solar hücrelerde artan sıcaklıkla artması eğilimi, verimliliğin azalmasına neden olmuştur. Ting ve Chao (2010), boyaya duyarlı güneş hücreleri (DSSC'ler) ile fotoelektrik dönüşüm verimliliğinin sıcaklık etkisi üzerinde deneysel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın sonucu, sıcaklık artarken mV, mI, mP oranlarının azaldığı, böylece verimin artan bir eğilime sahip olduğunu göstermiştir. 5,7 °C ila 75,5 °C arasında, mV maksimum %45, mI %14 ve mP %5,5 olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklığın etkisinden dolayı verimde azalmayı Berginc vd. (2008) tek kristal silikon güneş pili için çalışmışlardır. Rodriguez vd. (2005) tarafından yüksek bir sıcaklıktaki güneş hücrelerinin verimliliğini arttırmak (yaklaşık 100-200 °C) ve hibrit bir sistemdeki aşırı ısıyı kullanmak amacıyla verim analizi yapılmıştır. Güneş pillerinin verimliliğini arttırmak ve ısıyı kullanmak için yüksek

sıcaklıkta termoelektrik jeneratör ve bir ısı motoru (Stirling motoru) kullanmışlardır. Mekanik enerjinin %90'ın üzerinde bir verimlilikle elektrik enerjisine dönüştürülebileceğini bulmuşlardır. Bu da, hibrit sistemin güneş enerjisinden elektrik enerjisine dönüşümünün toplam verimliliğinin, pahalı materyallerin kullanılmasına gerek kalmadan %30'un üzerinde olabileceği anlamına gelmiştir. Ayrıca, bu yeni hücreler, yüksek sıcaklığın kaçınılmaz olduğu uygulamalar için idealdir sonucuna varılmıştır.

1.8 Non-İmaging (Görüntüsüz) Yoğunlaştırıcılar

Görüntüsüz yoğunlaştırıcıların tasarımı, belirli bir açısal görüş alanı için fiziksel yasaların izin verdiği maksimum geometrik yoğunluğa ulaşır veya yaklaşır. Bu güneş yoğunlaştırıcılarının tasarımı için çok önemlidir. Görüntüsüz yoğunlaştırıcıların uygulanması, sabit bir sistem için orta seviyede yoğunlaştırma oranına sahip bir tasarım sağlayabilir. Daha yüksek yoğunlaştırma elde etmek için güneş izleme sistemi gerekli olabilir, ancak görüntüsüz yoğunlaştırıcı tekniklerin kullanılması, büyük ölçüde rahat optik toleranslara ve aynı toleranslarla daha iyi yoğunlaştırma oranının elde edilmesine izin verir (Ustaoğlu, 2014).

Görüntüsüz bir yoğunlaştırıcı, inkoherent ışınımı bir kaynaktan bir alıcıya aktarılması için tasarlanmış optik bir cihazdır. Genellikle alıcının mümkün olabildiğince en küçük alana sahip olması şarttır. Bu durumlarda, amaç, görüntüsüz yoğunlaştırıcının alıcısı üzerindeki maksimum ışınım konsantrasyonuna ulaşmasını sağlamaktır (Şekil 1.15). Diğer durumlarda, görüntüsüz yoğunlaştırıcı iki unsuru (açıklık ve alıcı) birleştirmek zorundadır, böylece aralarındaki radyasyonun aktarımı optimumdur. Her iki durumda da, görüntü üretimine ihtiyaç yoktur, ancak sadece radyant enerjinin bir transferidir.



Şekil 1.15: Non-imaging sistemin yoğunlaştırma prensibi (Ustaoglu, 2014).

Tüm yıl boyunca sabit kolektörler ile düşük yoğunlaştırma oranı ($1,1x-2x$, özel durumlarda, $4x$ 'e kadar) elde edilebilir. Daha yüksek seviyeler için ($3x-10x$) genellikle ara sıra (mevsimsel) ayarlama gerektirir. Daha yüksek yoğunlaştırma oranları ($> 10-40.000$) izleme sistemi gerektirir. Bununla birlikte, görüntüsüz tekniklerle bu seviyelere de ulaşılabilir. Bunlar genellikle daha basit, ekonomik ve kolay bakımlı yoğunlaştırıcı sistemlerinin yapılmasını sağlar. Bu, ekonomik ve uygun maliyetli güneş kolektör sistemlerini geliştirmek için önemlidir (Gallagher, 2008).

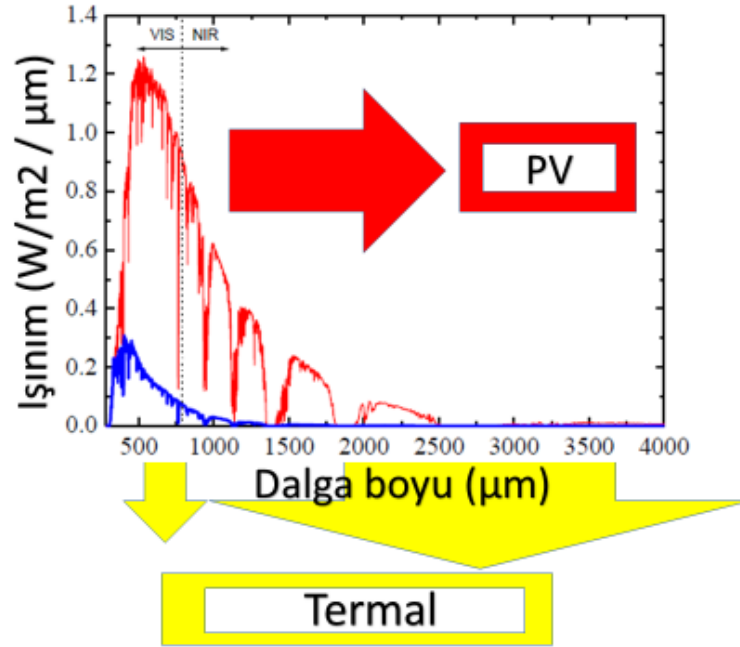
Görüntüsüz yoğunlaştırıcılı bir sistemin bir başka önemli avantajı da, dağınık yayılmanın önemli bir kısmını toplayabilmesidir. Mevcut difüz radyasyonun bu oranı, çok düşük kabul açılarına bağlı olarak geleneksel odaklama yoğunlaştırıcıları için son derece düşüktür (Ustaoglu, 2014).

Genel olarak, görüntüsüz yoğunlaştırıcılar, en iyi optik toleranslarla mümkün olan en yüksek yoğunlaştırma seviyesine ulaşabilirler. Bu nedenle, bu tür optikler, gelişmekte olan ülkelerdeki kırsal güneş uygulamalarından çok yüksek teknoloji uygulamalarına kadar geniş bir uygulama yelpazesinde güneş enerjisi dönüşüm sistemleri için ekonomik uygulanabilirliğe ulaşmada büyük bir potansiyele sahiptir (Gallagher, 2008).

1.9 Fotovoltaik/ Termal Sistemler (PV/T)

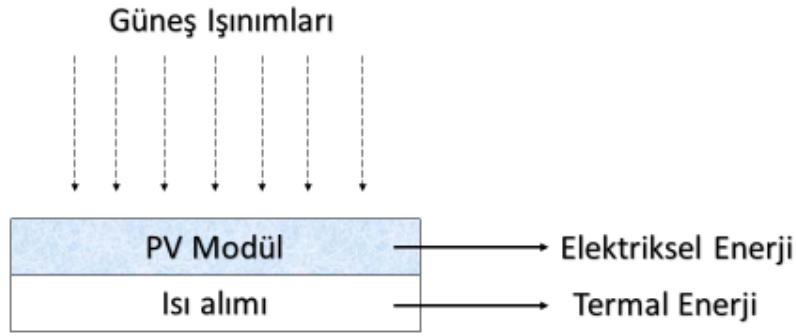
Karasal güneş ışınımı %43 IR, %48 VIS ve %9 UV ışınlarından oluşmaktadır (Joshi vd., 2016). Karasal güneş ışınımı $0,25-2,5 \mu m$ dalga boyundadır (Solanki, 2015). Güneş spektrumu tamamı elektrik enerjisi üretmek için güneş PV sistemi tarafından

kullanılmamaktadır. Güneş pili materyallerinin çoğu, karasal güneş spektrumunun belli bir kısmına tepki vermektedir. Şekil 1.16, PV ve termal sistem için karasal güneş spektrumunun kullanımını göstermektedir. Sadece güneş pili materyalinin tepki aralığına karşılık gelen ışınımlar, elektrik üretmek için güneş pili tarafından kullanılır. Güneş spektrumunun kullanılmayan radyasyonları enerjilerini güneş hücresinde ısı olarak dağıtmaktadır. Bu ısı yayılımı, güneş fotovoltaik sistemindeki termal kayıplara neden olur ve böylece performansını azaltır. PV hücresinin çıkışı, güneş hücresinin çalışma sıcaklığı arttığında azalır. Bu nedenle, daha iyi performans için, güneş hücrelerinin düşük çalışma sıcaklığını korumak şarttır (Skoplaki ve Palyvos, 2009).



Şekil 1.16: PV ve termal sistemler için karasal güneş spektrum dağılımı (Imenes ve Mills, 2004).

Fotovoltaik-termal (PV/T) sistemler, sistemde oluşan ısıyı, çeşitli teknikler ile uzaklaştırılarak sistem veriminin artırılması ve uzaklaştırılan ısının da farklı sistemlerde yararlanılması için kullanılmaktadır. Sistemden uzaklaştırılan ısı farklı termal sistemlerde kullanılmaktadır. Şekil 1.17'de PV/T sistemin en basit hali gösterilmektedir. PV/T çalışmaları 1970'lerin ortasında ele alınmaya başlamıştır (Wolf, 1976). Aynı senelerde bazı teorik ve deneysel çalışmalar literatürde yerini almıştır (Florschuetz, 1975; 1979; Kern ve Russell 1978). Başlangıçlarda sistem üzerindeki ısıyı uzaklaştırmak için çoğunlukla su ve hava kullanılmıştır.



Şekil 1.17: Basit PV/T sistem yapısı (Sandeep vd., 2018).

1.9.1 PV/T Kollektör Çeşitleri

PV/T kollektörleri düz plaka halinde veya yoğunlaştırılmış olabilirler. Ayrıca kullanılan çalışma akışkanına (su veya hava) göre sınıflandırılırlar (Charalambous vd., 2007).

1.9.1.1 Düz plaka PV/T Kollektörleri

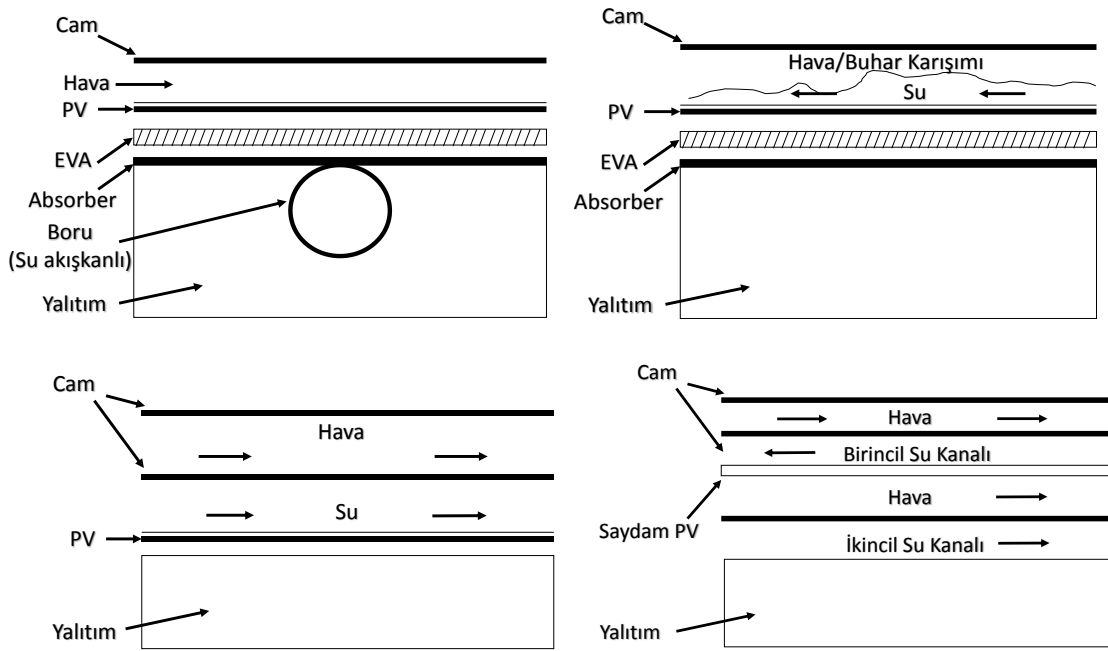
Düz plaka PV/T kollektörleri, düz levhalı termal toplayıcılara çok benzemektedir. Normal kollektörden ayıran tek önemli fark, absorbe plakanın üstüne tepesine kurulan PV panelidir (Charalambous vd., 2007).

1.9.1.2 Yoğunlaştırılmış PV/T Kollektörleri

PV maliyeti nispeten yüksek olduğu için, PV modüllerinde ışınım seviyesini arttırmak için yoğunlaştırıcılar kullanılır. Bina entegreli düşük konsantrasyonlu su soğutmalı tip PV/T toplayıcı, yakın zamanda Brogren vd. (2001) tarafından incelenmiştir. Bu çalışma da PV/T dize modülleri, 4,3 yoğunlaştırma oranına sahip, düşük maliyetli alüminyum folyo reflektörlere sahiptir. Coventry (2005) ısı ve güneş enerjisi birleşiminden oluşan sistem için PV/T toplayıcısını geliştirmiştir. Monokristal silikon hücreler ile yoğunlaştırma oranı 37 olan parabolik oluklu ve iki eksenli bir izleme sistemi dizayn edilmiştir. Hücrelerin arka tarafında üretilen ısıyı toplamak için su ve antifriz içeren bir tüp takılmıştır.

1.9.1.3 Su ve Hava Tipi PV/T Kollektörleri

Su tipi PV/T toplayıcıları su akış modeline göre farklı tiplere ayrılırlar. Şekil 1.18’de gösterildiği gibi, bunlar tabaka ve tüp şeklinde, kanal tipli, serbest akışlı ve iki soğurucuya sahip PV/T kollektörleri olarak ayrılmaktadır. Hava tipi PV/T kollektörler de, hava akış modeline göre ayrılır. Bunlar, soğurucunun üstünde, soğurucunun altında, soğurucunun her iki tarafında, tek ve çift geçişte hava akışına göre farklılaşmaktadır (Charalambous vd., 2007).



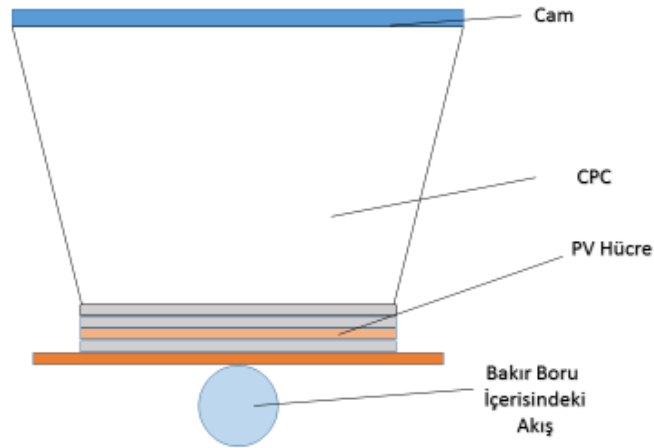
Şekil 1.18: PVT kollektör çeşitleri (Charalambous vd., 2007).

1.10 Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistemler (CPV)

Günümüzde, fotovoltaik (PV) sistemlerinin, güneş ışığını yüksek verimli güneş pilleri üzerinde yoğunlaştırmak için yansıtıcı malzeme, mercekler veya aynalar kullanarak etkinliğini arttırmak için yoğunlaştırıcı fotovoltaik (CPV) sistemleri kullanılmaktadır (Kalogirou, 2004). CPV sistemleri, güneş pilleri üzerine güneş enerjisini yoğunlaştırmak ve odaklamak suretiyle güneş enerjisini verimli bir şekilde elektriğe dönüştürülmesini sağlar. CPV sistemler hem doğrudan gelen ışınımı hem de iki reflektörlerden yansıyan güneş ışınımını toplamaktadır. Sistem, bir Fresnel lensten (Xie vd., 2011), bir parabolik toplayıcıdan (Mittelman vd., 2007), bir bileşik parabolik toplayıcıdan (CPC) (Fraidenraich

vd., 2008), bir parabolik oluk yoğunlaştırıcıdan (Krüge vd., 2008) oluşabilir (Weber vd., 2006).

İdeal bir CPV sisteminin, yoğunlaştırılmış güneş ışığını eşit olarak güneş piline dağıtması beklenir. Gelecekte temiz elektriğe büyük katkıda rol oynayabilecek CPV, yüksek verim, düşük sistem maliyeti, düşük sermaye yatırımı olarak tanımlanmaktadır. Basit bir CPV sistemi Şekil 1.19’da gösterilmektedir.



Şekil 1.19: Basit CPV sistemi.

1.11 Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik/Termal (CPVT) Sistemler

Fotovoltaik (PV) teknolojisi, güneş termal teknolojisi, yansıtıcı veya refraktif güneş yoğunlaştırıcılarının kombinasyonu üzerinde araştırmacılar uzun yıllardır çalışmışlardır (Evans vd., 1978; Gibart , 1981). Yoğunlaştırılmış fotovoltaik/termal sistem (CPVT), toplam verimi arttırmak için hem elektrik hem de ısı üreten, yoğunlaştırılmış fotovoltaik (CPV) ve fotovoltaik/termal sistemlerin birleşiminden oluşur (Li vd., 2011).

Yüksek yoğunlaştırmaya sahip sistemler genellikle çift eksenli bir izleme sistemine ve verimli bir ısı giderme mekanizmasına ihtiyaç duyar ve çok karmaşıktır (Chengdong vd., 2013). Bu nedenle, su veya hava ile soğutma sağlanan düşük yoğunlaştırılmalı PV/T sistemleri genellikle basit yapıları ve yüksek kararlılıkları için seçilir (Nakata vd., 1982; Buffet, 1982).

Yoğunlaştırıcı tasarımı, performans değerlendirmesi ve sistem optimizasyonu dahil olmak üzere, CPV/T teknolojisi konusunda önemli miktarda araştırma ve geliştirme çalışması yapılmıştır. CPV/T sistemindeki yoğunlaştırıcı, soğurucu yüzeyindeki güneş ışınımı dağılımını ve doğrudan sıcaklık profilini etkiler. Bileşik parabolik konsantratör tipi (CPC) (Brogren vd., 2000; Othman vd., 2005), parabolik tip (Akbarzadeh vd., 1996; Luque vd., 1997), düz tip (Al-Baali, 1986; Tripanagnostopoulos vd., 2002; Garg vd., 1994), doğrusal Fresnel tipi (Rosell vd., 2005) gibi reflektörler, termal ve elektriksel verimi arttırmak için tasarlanmış ve üzerlerinde çalışılmıştır. Kribus vd. (2006) minyatür bir yoğunlaştırılmış PV/T sistemi tasarlamışlar ve evsel su ısıtması için ısı nakil sistemini, elektrik ve termal performansını, üretim maliyetini ve ortaya çıkan enerji maliyetini analiz etmişlerdir. Mittelman vd. (2007) elektrik ve yüksek dereceli termal enerji üretmek için bir CPV/T sistemi önermişler ve bazı ayrıntılı analizler yapmışlardır. Li vd. (2011) bir oluk tipli CPV/T sisteminde farklı ışınım yoğunlukları altında dört çeşit güneş hücresinin performansını araştırmış ve farklı güneş pili türlerinin kendi optimum yoğunlaştırma oranlarına sahip olması gerektiğini bulmuşlardır. Brogren vd. (2000) bir PV/T CPC sisteminin optik verimliliğini incelediler ve optik verimliliğin, camın, reflektörün ve soğurucunun özelliklerine bağlı olduğunu keşfetmişler. Tripanagnostopoulos (2007) Patras Üniversitesi'nde CPV/T sistemlerinin performansını arttırmak için sistemde kullanılan cam malzemesinin etkisi, farklı yoğunlaştırıcı tasarımları ve soğutma yöntemleri sunmuşlardır. Ama yapılan sistemler çoğunlukla binalarla entegre etmişlerdir.

Tek bir odak noktasına yoğunlaştırma yaparak çalışan yüksek yoğunlaştırma oranlarına sahip imaging(görüntülü) sistemlerde, ışınım miktarının fazla olmasından dolayı sistem aşırı olarak ısınmaktadır. Ayrıca bu sistemler güneş takibine ihtiyaç duyduğundan belirli açıda gelen ışınimleri kabul etmektedirler. Başka bir deyişle kabul açıları kısıtlıdır.

Bu çalışma da belirtilen sistemlere alternatif olarak non-imaging sistemlerin en yaygın olanı CPC geometrisi PV hücresine entegre edilerek sıcaklık ve verim analizi ele alınmıştır. Fakat CPC geometrisinden dolayı oluşan non-uniform aydınlatma, sistemde kullanılan PV hücresinde sıcak bölgeler oluşumuna neden olmuştur. Oluşan sıcak bölgeler verimi düşürmektedir. Verimin iyileştirilmesi için CPC geometrisine ek farklı geometriler olan V-oluk ve CHC geometrilerinin sıcaklık ve verim analizleri yapılmıştır. Bu geometriler ile daha uniform bir ışınım dağılımı ve daha yüksek elektrik verimi buna bağlı olarak güç üretimini arttırmak amaçlanmıştır. Ayrıca PV'lerde verimin azalmasına neden olan ısınmayı engelleyecek bir soğutma suyu kullanılıp hücrede oluşan ısı yükünün

kullanılmasını sağlayarak topla verimi arttırmak ve böylelikle güneş enerjisinin tüm spektrumundan faydalanan, elektrik ve ısı güç üretebilen bir sistem oluşturulmak hedeflenmiştir.

BÖLÜM 2

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1 Materyal

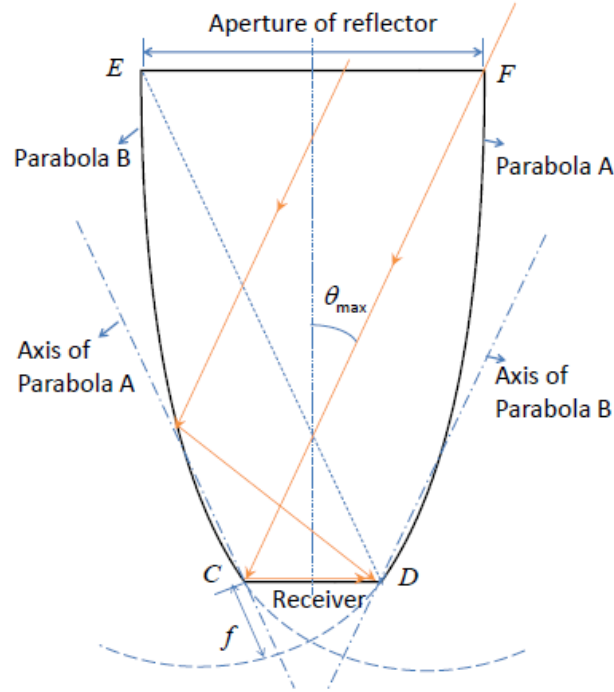
2.1.1 Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı (CPC)

İdeal, görüntüsüz, optik cihazlar farklı yöntemler kullanılarak elde edilebilir. Bunlardan en önemlileri akış hattı (Winston Welford tasarım yöntemi), Simultane Çoklu Yüzey (SMS) tasarım yöntemi, Miano-Benitez tasarım metodu ve Poisson parantezleri kullanılarak Miano tasarım metodudur. Akış hattı tasarım metodu, tipik olarak, iki yansıtıcı yüzey arasındaki geliş ışınlarını yönlendiren optikler içerir. Bu tip cihazların en bilinenleri, bileşik parabolik yoğunlaştırıcılarıdır (CPC).

CPC, ideal yoğunlaştırıcı olmaya çok yaklaşabilen bir dizi görüntüsüz yoğunlaştırıcının prototipidir. CPC, Hinterberger ve Winston (1966) tarafından yüklü bir elektronun bir dielektrik ortamdan, ışığın faz hızından daha yüksek bir hızda başka ortama geçmesiyle yayılan elektromanyetik Cerenkov radyasyonu için bir yoğunlaştırıcı olarak tanımlanır (Hinterberger ve Winston, 1996). Aynı zamanda, Baranov (1965) ve Baranov ve Melnikow (1966) aynı prensibi 3D geometrisi için tanımlanır ve güneş enerjisi yoğunlaştırıcı uygulamaları için 3D CPC'leri önerirler. Hintenberger ve Winston (1996) ulaşılabilir yoğunlaştırma oranını $1/\sin^2\theta$ belirler ve Winston (1970) bu teoriyi güzel bir şekilde açıklar.

CPC'nin icadından bu yana, geniş bir yelpazede birçok tasarım ve analiz çalışması yapmışlar. Rabl (1976) CPC'nin optik ve termal özelliklerini değerlendirmişler ve bunu belli bir kesme oranına sahip CPC ile karşılaştırmış. Rabl vd. (1979) cam bir örtü ile kaplanmış tüp şeklindeki emiciye sahip yoğunlaştırıcıları karşılaştırmışlar. Bununla birlikte, cam kaplama tasarımı yansıtıcı ve soğurucu arasındaki boşluklara izin verdiği için dolaylı ısı akış kaybını önemli bir ölçüde artırır. Norton vd. (1989) boşluk optik kayıpları ve ısı kayıplarını ortadan kaldırarak optik verimin artırılması ile bir bileşik

parabolik konsantratör tasarlamış. Tabor (1984) CPC tasarımında bulunan üç faktörün; yetersiz ışınım, eşit olmayan aydınlatma ve aşırı uzun aynalar ulaşılabilir yoğunlaştırma oranını düşerebileceğini belirlemiştir.



Şekil 2.1: Birleşik parabolik yoğunlaştırıcının enine kesiti (Ustaoğlu, 2014)

Şekil 2.1'de, geleneksel bir CPC'nin kesitini göstermektedir. İki özdeş parabolik eğriden oluşur ve mümkün olan en yüksek yoğunlaştırmaya ulaşır. Çoklu iç yansımalar kullanıldığı için, kabul açısı içindeki açıklıktan geçen herhangi bir ışınım absorbe ediciye ulaşır. C ve D sırasıyla A ve B parabollerinin odak noktasıdır. θ_{max} açısı ile oluşan aşırı ışınlar, parabol B'nin eksenine paraleldir ve bu nedenle ışınlar odak noktası D üzerinde yoğunlaşır. Parabolün odak uzunluğunun olduğunu basit bir koordinat geometrisi ile gösterilir;

$$f = s(1 + \sin \theta_{max}) \quad (3)$$

Burada s alıcı uzunluğunun yarısıdır. Toplam yoğunlaştırıcı uzunluğu aşağıdaki gibi hesaplanabilir (Eşitlik 4);

$$L_0 = s(1 + \sin \theta_{max}) \cos \theta_{max} / \sin^2 \theta_{max} \quad (4)$$

$$L = s / \sin \theta_{\max} \quad (5)$$

Buradan giriş açıklığı uzunluğu bulunabilir. Eşitlik 5, CPC'nin maksimum teorik konsantrasyon oranına sahip olacağıdır (Welford and Winston 1978).

$$L/s = 1/\sin \theta_{\max} \quad (6)$$

Eşitlik 6, θ_{\max} 'ın toplama açısının içindeki tüm ışınların CD alan alan üzerine odaklandığını gösterir. Pratikte CPC çoklu yansımaları kullanır ve maksimum toplanma açısında gelen ışınlar sisteme tekrardan dönebilir. Bu yüzden CPC ideal bir yoğunlaştırıcı olmaya çok yakındır çünkü özellikle maksimum kabul açısında olan hiçbir ışın sistemden çevreye dönmez. Güneş izleme sistemi gerektirmediğinden güneş enerjisi toplama alanının pratik kullanımında bu çok önemlidir.

Alıcı alanı $2s$ ve kabul açısı θ_{\max} olursa, Eşitlik 7'ye göre CPC geometrisini tanımlanabilir (Welford and Winston 1978). CPC geometrisini belirlemek için bir açı olarak r, z, θ polar koordinatları gösterir.

$$\begin{aligned} & (r \cos \theta_{\max} + z \sin \theta_{\max})^2 + 2s(1 + \sin \theta_{\max})^2 r \\ & - 2 \cos \theta_{\max} (2 + \sin \theta_{\max}) - s^2 (1 + \sin \theta_{\max})(3 + \sin \theta_{\max}) = 0 \end{aligned} \quad (7)$$

2.1.1.1 Birleşik Parabolik Yoğunlaştırıcı- PV Geometri Oluşumu

Görüntüsüz yoğunlaştırıcılar, maksimum kabul açısı içinde ve minimum optik kayıp ile doğrudan gelen ışınlar dahil olmak üzere gelen tüm güneş ışınımının toplanması amacıyla kullanılmıştır. Şekil 2.2'de birleşik parabolik bir yoğunlaştırıcının geometrisi verilmiştir. Verilen eşitlikler geometriyi oluşturma amacıyla eğrilerin denklemlerinin çözülmesi ile elde edilmiştir. Birleşik parabolik yoğunlaştırıcı (CPC) iki parabolik yoğunlaştırıcının birbirlerinin odak noktalarına yerleştirilmesi şeklinde elde edilebilir. Parabolün oluşması için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Eşitlik 8).

$$y = \frac{x^2}{2s(1 + \sin \theta_{\max})} \quad (8)$$

Burada s PV'nin kesit uzunluğunu ve θ_{max} maksimum kabul açısını temsil etmektedir.

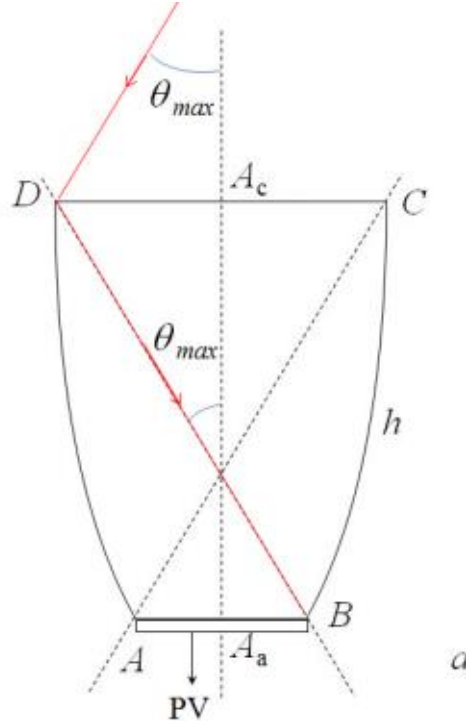
$$C_{cpc} = \frac{A_c}{A_a} = \frac{1}{\sin \theta_{max}} \quad (9)$$

Bu parabolden birleşik parabolik yoğunlaştırıcının oluşturulması için parabolün kabul açısına bağlı döndürülüp tekrar çözümlendiğinde koordinat sistemi elde etmek için aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Eşitlik 10).

$$x_N = (s + \varphi) \cos^2 \theta_{max} - \frac{x^2 \sin \theta_{max}}{2s(1 + \sin \theta_{max})} \quad (10)$$

$$y_N = (s + \varphi) \sin \theta_{max} \cos \theta_{max} + \frac{x^2 \cos \theta_{max}}{2s(1 + \sin \theta_{max})}$$

Burada φ değeri 0 ile açıklık uzunluğu olan L değeri arasında değiştirilince sistemin boyutu değiştirilebilecektir. Böylelikle reflektörün üst kısmı kesilebilecektir.



Şekil 2.2: Birleşik parabolik yoğunlaştırıcı (CPC)-PV sistemin 2-boyutlu görüntüsü.

2.1.1.2 V-trough Yoğunlaştırıcı -PV Geometri Oluşumu

Görüntüsü bir yoğunlaştırıcının başlangıç formu, V-trough yoğunlaştırıcılar olarak adlandırılabilir ve güneş enerjisi uygulamaları için uzun yıllardan beri kullanılmaktadır (Holter, 1962). V-trough tipli yoğunlaştırıcının verimliliği, yapılan çalışmalar neticesinde gelişim göstermekte; bununla birlikte, tasarım parabolik tasarımının yapılmasına yol açmıştır. V-trough tipli yoğunlaştırıcıdan elde edilen maksimum güç, geleneksel yoğunlaştırıcılardan elde edilen maksimum gücün 1,5 katı kadar daha fazla olduğu çalışmalar neticesinde görülmüştür (Garcia vd., 2008). V-trough geometrisini iki düz plaka şeklinde plaka oluşturmaktadır. Bu yüzden düşük maliyet ve kolay imalat avantajları vardır. Ayrıca V-trough tipi yoğunlaştırıcılar fotovoltaik uygulamalar için özellikle uygundur, çünkü yoğunlaştırma oranı (C) ve geliş açısı (ψ) belirli kombinasyonları için, modüllerin bulunduğu bölgede düzgün aydınlatma sağlarlar.

Şekil 2.3’de V-trough yoğunlaştırıcının kesit geometrisini göstermektedir. AB ve DC, sırasıyla PV’nin yerleştirildiği alıcı alanını (A_a) ve açıklık alanını (A_c) göstermektedir. BC, bir taraftaki reflektör uzunluğunu (h) gösterir. Burada, V-trough yoğunlaştırıcı, normal kabul açısı ile gelen güneş radyasyonunun yansımadan sonra alıcı alanın, A_a tam merkezine ulaştığı bir tasarıma sahip olarak düşünülmüştür. V-trough yoğunlaştırıcı için θ_{max} , aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir (Eşitlik 11).

$$\theta_{max} = 2\psi + \delta \quad (11)$$

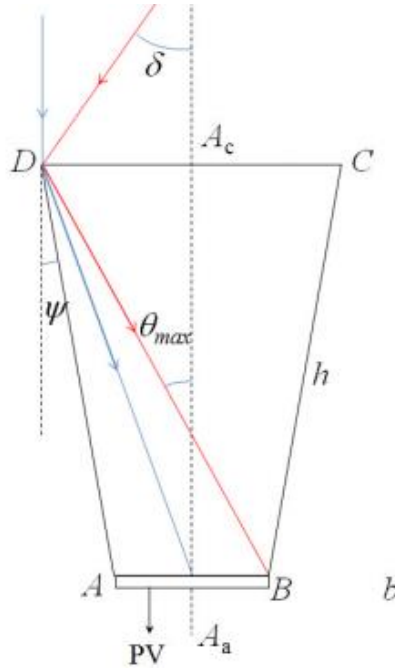
Burada δ yoğunlaştırıcının kabul açısıdır. Bu açıdan sonra V-trough yoğunlaştırıcının optik performansı, maksimum kabul açısı θ_{max} değerine kadar önemli ölçüde azalır. Maksimum kabul açısı θ_{max} dışında hiçbir ışın PV hücreye ulaşamaz. V-trough reflektör uzunluğu h , aşağıdaki eşitlikle elde edilebilir (Eşitlik 12).

$$h = \frac{A_a \cos 2\psi}{2 \sin \psi} \quad (12)$$

V-trough yoğunlaştırıcısının geometrik tasarım parametrelerinin analitik çözümünden sonra, aşağıdaki eşitlik elde edilebilir (Eşitlik 13).

$$C_w = \frac{A_u}{A_c} = \frac{2}{\tan^2 \psi + 1} \quad (13)$$

Burada C_{tr} , V-trough yoğunlaştırıcısının yoğunlaşma oranını gösterir.



Şekil 20.3: V-trough yoğunlaştırıcısı -PV sistemin 2-boyutlu görüntüsü.

2.1.1.3 Birleşik Hiperbolik-trumpet Yoğunlaştırıcısı- PV Gometrisi Oluşumu

Şekil 2.4'te birleşik hiperbolik bir yoğunlaştırıcısı (CHC) olan trumpet tipi bir non-imaging yoğunlaştırıcısının kesit geometrisini göstermektedir. CHC'de alıcı bölgeye ulaşmadan önce kabul açısına yakın açı ile gelen ışınlar için çoklu yansımaya sebep olabilecek sanal bir odak kullanmaktadır. CHC reflektör ideal bir yoğunlaştırıcısı olarak sınırsız bir uzunluğa sahip olabilir (Jenkins and Winston, 1996). Bu yüzden boyutlarının belir ölçülerde sınırlandırılması gerekir. Trumpet tip yoğunlaştırıcısının eğrisi aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir.

$$y = \left(\frac{s}{2 \tan \theta} \right) \left(\frac{4x^2}{s^2} - 1 \right)^{0.5} \quad (14)$$

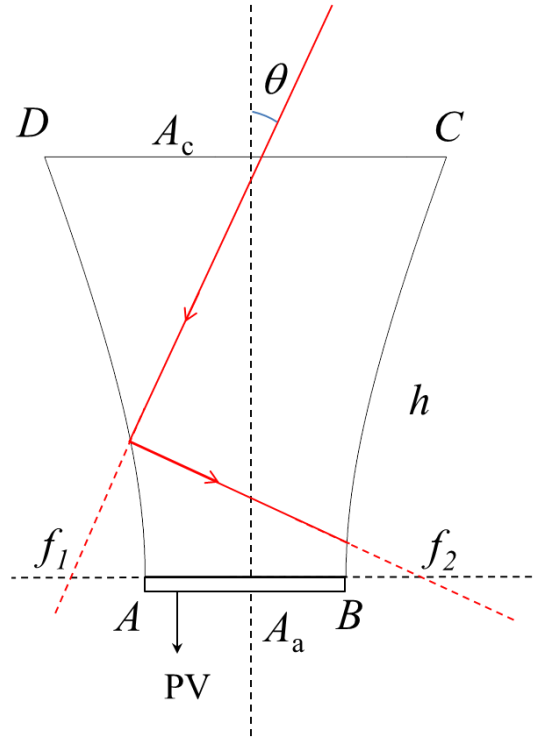
Burada analiz edilen geometri için şekilde verilen s değeri PV'nin kesit uzunluğunu ve θ kabul açısını temsil etmektedir. Yoğunlaştırma oranı aşağıdaki formül ile bulunabilir.

$$C_{cpc} = \frac{2c}{2a} = \frac{A_c}{A_a} = \frac{1}{\sin \theta_{\max}} \quad (15)$$

Burada $2a$ alıcı bölgenin uzunluğunu $2c$ ise hayali odak noktaları arasındaki uzunluğu temsil etmektedir.

$$C(x_2) = \frac{s}{2} + \left(\frac{s(1 - \sin \theta)}{2 \sin \theta} \right) \sin \varphi \quad (16)$$

Yukarıdaki formülde φ değeri $0 \leq \varphi \leq \pi/2$ arasında değişmekte ve maksimum değeri olan $\pi/2$ değerine ulaştığında C noktasının x koordinatındaki değeri elde edilir. Bu değer iki katı bize açıklık uzunluğu olan L değerini verecektir.



Şekil 2.4: Birleşik hiperbolik yoğunlaştırıcı (CHC)-PV sistemin 2-boyutlu görüntüsü.

2.2 Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistemin Isıl Modelin Belirlenmesi

Optik verim, gelen radyasyonun emilen kısmının miktarını temsil eder ve absorber kısmının absorptivitesinin α_{ab} , cam örtünün geçirgenliğini τ_c ve reflektör yüzeyinin yansıtıcılığının ρ_r bir fonksiyonudur. Optik verim aşağıdaki eşlikle gösterilebilir (Eşitlik 17)

$$\eta_{opt} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \rho_r^{Rn}}{Nr} \alpha_{ab} \tau_c \quad (17)$$

burada Rn , ışın izleme metodu ile belirlenen yansımaların sayısıdır ve Nr , ışınların sayısıdır ve n , yoğunlaştırıcının açıklığı tarafından toplanan ışınların sayısıdır. Termal verim, gelen radyasyonun kullanılabilir enerjisinin miktarını belirtir. PV termal bir sistemde elektrik üretilen enerji ısı olarak kullanılamayacağından dolayı ışıınım ve taşınım kaynaklı ısı kayıpları ile birlikte optik verimden çıkarılması gerekmektedir.

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_u(t)_c}{q_s(t)A_c} = \eta_{opt} - \frac{(h_{serb} + h_{zor})A_a(T_{PV} - T_\zeta)}{q_s(t)A_c} - \frac{\varepsilon\sigma A_a(T_{PV}^4 - T_{sky}^4)}{q_s(t)A_c} - \eta_{elek} \quad (18)$$

İlk terim, faydalı enerji $\dot{Q}_u(t)$ 'nin mevcut olan enerji $q_s(t)A_c$ 'a oranını gösterir. Bu oran iletim ve taşınım yoluyla PV'den olan toplam ısı kaybı katsayısıdır. Yani, ikinci terim, soğurucudan taşınım ile ısı kaybını gösterir. Burada PV'nin üst ve alt yüzeyinden zorlanmış ve doğal taşınım ile ısı kaybı olduğu düşünülmüştür. Cam tüp ile kaplanıp reflektör boşaltıldığında, taşınım için ısı transfer ortamı ortadan kalkmaktadır. Böylece ikinci terim ortadan kaldırılabilir. ε PV yüzeyin yayıcılığıdır. σ Stefan-Boltzmann sabiti. T_{PV} , T_ζ ve T_{sky} sırasıyla ortalama PV sıcaklığı, ortam sıcaklığı ve gökyüzü sıcaklığını temsil eder. q_s güneş ışıınımıdır ve sadece doğrudan güneş ışıınımı hesaba katıldığında aşağıdaki eşitliklerden belirlenebilir. Son terim ise PV sistemin elektrik verimini göstermektedir. Çalışma sıcaklığı arttıkça güneş pili elektriksel verimliliğinin azalması göz önüne alındığında, güneş hücresindeki dahili ısı oluşumunun doğru hesaplanmasında bir iterasyon hesaplaması kullanılır. Güneş pili elektrik verimliliği hesaplaması için, aşağıdaki eşitlik (Evans, 1981) kullanılır (Eşitlik 19).

$$\eta_{elek} = \eta_{ref} [1 - \beta_{ref} (T_{PV} - T_{ref})] \quad (19)$$

Reflektörün yansıtıcılığı, cam kaplamanın ve PV hücrenin geçirgenliği sırasıyla 0,9, 0,92 ve 0,9 olarak alınmıştır. ρ_{PV} , c_{PV} ve k_{PV} sırasıyla 2.330 kg/m³, 0,677 kJ/kg°C, 148 W/m°C alınmıştır. Standart Test Koşulları altında; η_{ref} panelin elektriksel verimi, T_{ref} panelin sıcaklığını göstermektedir. β_{ref} sıcaklık katsayısıdır ve Eşitlik 20 ile hesaplanabilir

$$\beta_{ref} = \frac{1}{T_o - T_{ref}} \quad (20)$$

Burada T_o , PV modülün elektrik veriminin sıfıra düştüğü sistemin çalışabileceği en yüksek sıcaklıktır (Garg ve Agarwal, 1995). Kristal silikon bir güneş hücresi için bu sıcaklık 270°C'lere kadar çıkmaktadır (Evans ve Florschuetz, 1978). Böylelikle güneş pilinin yapısına bağlı olarak 0,002 ile 0,0045 arasında değişmekte (Ceylan ve Ethem, 2018) bazı sistemlerde sıcaklık katsayısı 0,0063 lere kadar ulaşmaktadır (Tonui ve Tripanagnostopoulos, 2007a; 2007b; Othman vd., 2007).

Doğal taşınım ile olan ısı kayıpları için matematiksel ilişki Newton'un soğutma yasası dikkate alınarak belirlenir (Eşitlik 21).

$$q_{taşınım} = h_{serb} A (T_{pv} - T_{ç}) \quad (21)$$

PV panel ön yüzeyi ve bakır levha arka yüzeyi için doğal taşınımdan dolayı ısı transfer katsayısı, h_{serb} aşağıdaki ifade ile hesaplanabilir (Eşitlik 22).

$$h_{serb} = \left(\begin{array}{l} \left(\frac{k}{L} \left[0.68 + \frac{0.67(Ra_L \cos \phi)^{1/4}}{\left(\left(1 + \left(\frac{0.492k}{\mu C_p} \right)^{9/16} \right)^{4/9} \right)} \right] \right) \text{---if --- } Ra_L \leq 10^9 \\ \left(\frac{k}{L} \left[0.825 + \frac{0.387 Ra_L^{1/6}}{\left(\left(1 + \left(\frac{0.492k}{\mu C_p} \right)^{9/16} \right)^{8/27} \right)} \right] \right) \text{---if --- } Ra_L > 10^9 \end{array} \right)^2 \quad (22)$$

L ve Ra_L , sırasıyla PV panel yükseltisi ve Raleigh numarasıdır ve Ra_L değeri;

$$Ra_L = \frac{g\beta\rho^2 C_p (T_{pv} - T_\xi) L_c^3}{k\mu} = \frac{g\beta\rho^2 (T_{pv} - T_\xi) L_c^3}{\mu^2} Pr \quad (23)$$

Burada aşağıdaki değerler birbirine yaklaşık olarak eşittir.

$$\frac{C_p}{k\mu} \approx \frac{Pr}{\mu^2} \quad (24)$$

Prandtl number Eşitlik 25'teki gibi yazılabilir.

$$Pr \approx \frac{C_p \mu}{k} \quad (25)$$

Yukarıdaki eşitlikte, β havanın termal genişleme faktörüdür.

$$\beta = \frac{1}{v} \left(\frac{\partial v}{\partial T_{pv}} \right)_p = - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T_{pv}} \right)_p \quad (26)$$

Eğer basınç sabit olursa bu ifade;

$$\beta \approx \frac{\Delta v/v}{\Delta T} = - \frac{\Delta \rho/\rho}{\Delta T} \quad (27)$$

Eşitlik 27'deki gibi hesaplanabilir. İdeal gazlar için $1/T$ ile bulunabilir.

Rüzgar kaynaklı zorlanmış konveksiyon ısı kayıpları, panelin sıcaklığının hesaplanmasında önemli bir etki yaratmakta ve literatürde zorlanmış konveksiyon ısı transfer katsayısı (h_{zor}) için yaygın değerler bulunmaktadır. (Skoplaki ve Palyvos, 2009). Rüzgar kaynaklı zorlanmış taşınımından dolayı oluşan ısı kaybı Eşitlik 28 ile hesaplanabilir.

$$q_f = h_{zor} A (T_{pv} - T_\xi) \quad (28)$$

Isı transferinin temel teorisi kullanılarak h_{zor} değeri rüzgar tüneli ve saha ölçümleri için (Kant vd., 2016) verilebilir. PV paneli üzerinde h_{zor} 'ın ortalama değeri aşağıdaki gibi belirtilmiştir (Incropera vd., 2011).

$$h_{zor} = \begin{cases} \frac{2k}{L} \frac{0.3387 \text{Pr}^{1/3} \text{Re}_L^{1/2}}{\left(1 + \left(\frac{0.0468}{\text{Pr}}\right)^{2/3}\right)^{1/4}} & \text{if } \text{Re}_L \leq 5 \times 10^5 \\ \frac{2k}{L} \text{Pr}^{1/3} \left(0.037 \text{Re}_L^{4/5} - 871\right) & \text{if } \text{Re}_L > 5 \times 10^5 \end{cases} \quad (29)$$

Reynolds sayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$\text{Re}_L = \frac{\rho V L_c}{\mu} \quad (30)$$

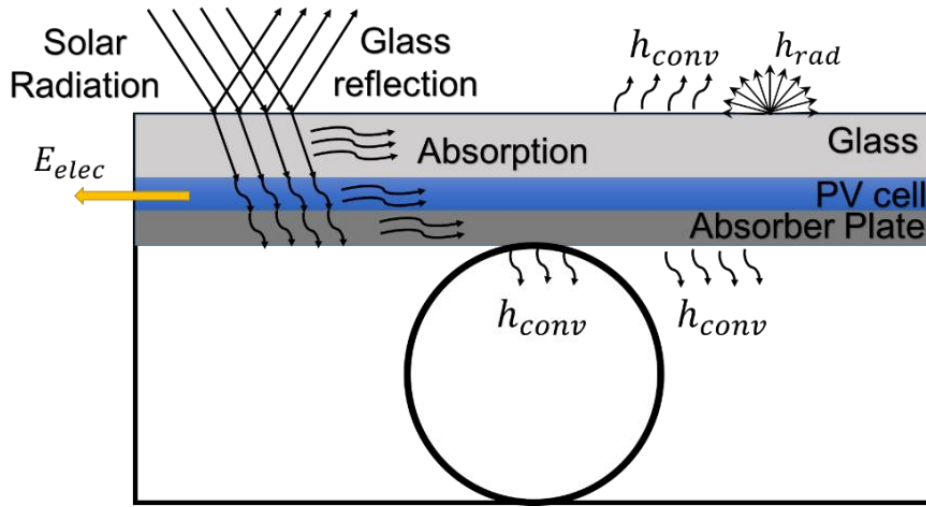
Eşitlik 31 kesme durumundaki yoğunlaştırma oranını göstermektedir.

$$C_{com} = \frac{C_{trun}}{C_{full}} \quad (31)$$

C_{trun} ve C_{full} , sırasıyla, kesik ve tam konsantratör konsantrasyon oranını temsil etmektedir. Reflektörün spektral yansımaları ρ , her bir ışın için, geliş açısı ve $0,5 \mu\text{m}$ dalgaboyunun fonksiyonu olarak hesaplanmıştır. PV hücrenin gri bir yüzeye sahip olduğu varsayılmış ve soğurganlığı ve yayıcılığının tabloda belirtilmiştir. PV üzerindeki cam tabakanın geçirgenliği $0,92$ olarak kabul edildi. Sistemin termal veriminin belirlenmesi için her bir sistem için nümerik analiz sonucu elde edilen T_{PV} ve T_{sky} sıcaklıkları 293 K olarak kabul edilmiştir, ortam sıcaklığına eşit olduğu varsayılmıştır.

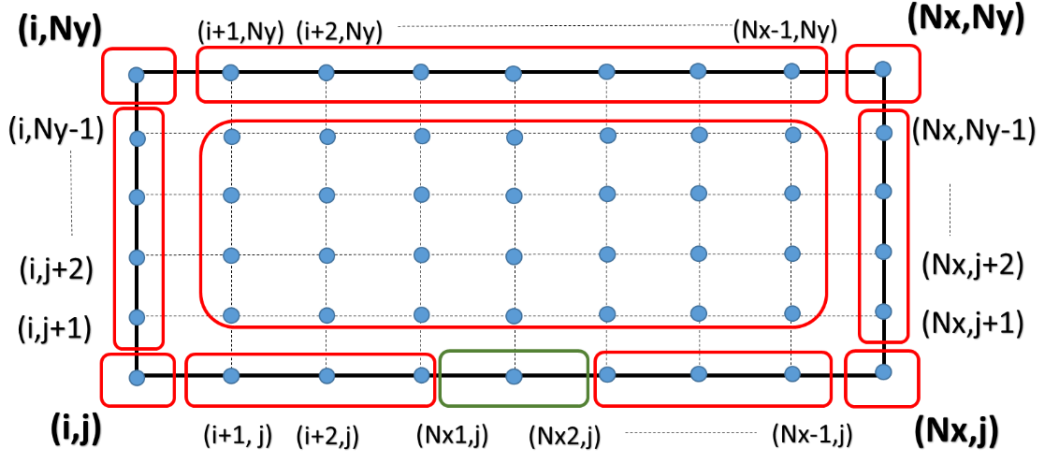
2.3 Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistemin Numerik Analizi

CPC-PV, V-trough-PV ve CHC-trumpet sistemlerinin iki boyutlu nümerik analizi yapılmıştır. Pasif soğutma düzenlemeleri olan PV yoğunlaştırıcı sistemi (güneş pili) için sıcaklığı öngörmek üzere iki boyutlu termal model geliştirilmiştir. PV modülün sıcaklık dağılımının hesaplanmasında nümerik analiz yapıp sonlu hacimler metodu kullanılmıştır. Non-imaging yoğunlaştırıcı sistemlerin geometrilerin analizleri FORTRAN programı ile elde edilmiştir. Grafik ve geometrilerin elde edilmesinde Origin programı kullanılmıştır.



Şekil 2.5: Bakır boru eklenmiş PVT sistemin iki boyutlu şeklinde enerji dengesi.

Şekil 2.5’de bir PV hücresi ve altına yerleştirilmiş olan ve PV’yi soğutmada kullanılacak olan soğutma suyu geçen bakır bir boru ile bütünleşik PVT sistem görülmektedir. Güneş radyasyonu PV hücreye, reflektörün yansıtıcılığı ve camın geçirgenliği ile PV’ye ulaşır. Görünür ve kızılötesi bölgesine yakın güneş radyasyonu PV’nin karakteristiğine ve performansına göre elektrığe dönüştürülür. Enerjinin geri kalanı ısıya dönüşmektedir. Bu ısı, Şekil 2.6’da görüldüğü gibi PV modülünün üst ve alt kısmındaki konveksiyon ve radyasyondan ile sistemden uzaklaştırılmaktadır. Buradaki PV sistem nümerik analiz yapılmak üzere seçilmiş bulunmaktadır. PV hücrenin farklı enerji denklemlerine sahip bölgeler gösterilmektedir.



Şekil 2.6: Farklı özelliklere sahip PV üzerindeki bölgeler.

Analizler zamana bağlı eşitliklerin çözümlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. PV hücrenin üst yüzeyinden ve ışın izleme analiz metodu kullanarak elde ettiğimiz ve her bir element üzerine yoğunlaştırıcının tipine bağlı olarak farklı oranda gelmiş olan güneş enerji akısı gelmektedir. PV'nin üst yüzeyinden ayrıca taşınım ve ışınlama ile olan ısı transferi hesaba katılmıştır. PV'nin alt yüzeyinde ortama taşınım ayrıca soğutma için kullanılan boruya da taşınım ile ısı kaybı hesaba katılmıştır. PV hücre içinde iletim ile ısı transferi gerçekleşmektedir.

Yoğunlaştırıcının açıklığındaki güneş ışınması 5000 ışına bölünmüştür. PV hücresi 100 x-ekseni boyunca, 20 y-ekseni boyunca olmak üzere toplam 2000 elemente ayrılmıştır ve üst sınırdaki her bir elemente ulaşan güneş radyasyonu ışın izleme yöntemi kullanılarak belirlenmiştir (Şekil 2.6). Değerlendirmeyi kolaylaştırmak için aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır;

1. İki boyutlu (2D) termal bir model ele alınmıştır.
2. Isı kapasitesi ve ısı iletkenlik gibi PV'nin termal özellikleri sıcaklık değişimleri ile değiştirilmemiştir.
3. Bakır boru içerisindeki kütle akış oranı üniform kabul edilmiştir.
4. Yansımaya, geçirgenlik ve soğurganlık oranları PV'nin optik özellikleri sıcaklıktan bağımsızdır.
5. PV'nin saydam tabakaları içindeki iç yansımalar ihmal edilmiştir.
6. PV modülünün arka tarafındaki radyasyon ısı kaybı dikkate alınmamıştır.

7. PV hücresinin yayılımı ε dalga boyundan ve yüzey sıcaklığından bağımsızdır.
8. PV panel, ortam, gökyüzü ve çalışma sıvılarına doğrudan ısı transferine sahiptir. Optik verimi ilk yaklaşım olarak hesaplamak için analizde cam kaplamanın etkisi dikkate alınmıştır.
9. Görüş faktörü bir bütün olarak kabul edilmiştir.
10. Gelen güneş radyasyonu 1000 W/m^2 olarak kabul edilmiştir.
11. Difüz radyasyon etkisi, dikkate alınmamıştır.

Bu sistemin tüm noktalar göze alındığında oluşan genel enerji dengesi aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\rho_{PV} c_{PV} \frac{dT_{PV}}{dt} = \eta_{opt} q_s + \varepsilon \sigma h_{rad} (T_{sky} - T_{PV}) + h_{conv1} (T_{amb} - T_{PV}) + h_{conv2} (T_{su} - T_{PV}) - k_{pv} \left(\frac{\partial^2 T_{PV}(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_{PV}(x, y)}{\partial y^2} \right) - E_{elek} \quad (32)$$

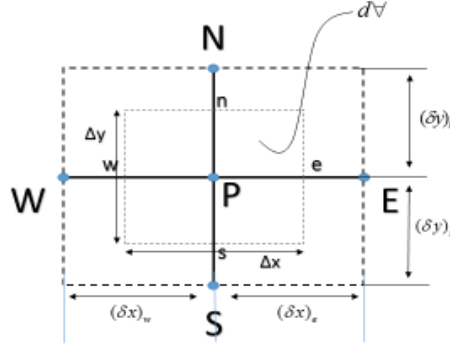
Burada ρ_{PV} , c_{PV} and k_{PV} sırasıyla fotovoltaik pilin yoğunluğunu, özgül ısı kapasitesi ve iletim katsayısını göstermektedir ve bunlar sistemde sabit olarak kabul edilmiştir. η_{opt} , CPV sisteminin optik verimliliğini gösterir ve reflektörün yansıtıcılığının, cam kaplamanın geçirgenliğinin ve PV hücresinin emiciliğinin bir fonksiyonu olarak hesaplanabilir. q_s eğik yüzeye gelen güneş enerjisini göstermektedir. Bu güneş ışımalarının geliş açısına göre karar verilmiştir. Taşınım ısı transfer katsayıları analitik çözümlerle hesaplanmıştır (Ustaoğlu vd., 2016). Sınırları Şekil 2.6'da gösterildiği için farklı enerji dengesi farklı alanlara uygulandığından bahsetmek önemlidir.

Sistemden elde edilen elektrik enerji çıkışı E_{elek} ;

$$E_{elek} = q_s \eta_{opt} \left[\eta_{ref} \left(1 - \beta_{ref} (T_{PV} - T_{ref}) \right) \right] \quad (33)$$

Burada T_{ref} referans sıcaklığında, η_{ref} PV hücresinin elektriksel verimliliğidir. T_{PV} , PV hücresinin sıcaklığını temsil eder.

Analizi yapılacak olan herhangi bir PV hücresi üzerindeki noktanın genel gösterimi Şekil 2.7’de gösterilmektedir. Belirlenen noktanın komşu diğer noktaların etkilerine göre birim alanı oluşturularak işlemler yapılmaktadır.



Şekil 2.7: Analizi yapılacak kontrol hacminin gösterimi.

Genel analiz denklemleri Eşitlik 34’teki gibi gösterilebilir.

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + S \quad (34)$$

Burada S kaynak terimini göstermektedir ve sıcaklığa bağlı ve sabit değerli ile birlikte aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$S = S_c + S_p T \quad (35)$$

Verilen eşitliği cebirsel hale getirmek için şeklindeki kontrol hacminde tam implicit metodu kullanarak integrasyonu uygulanmıştır.

$$\begin{aligned} \rho_{PV} c_{PV} \int_w^e \int_s^n \int_t^{t+\Delta t} \frac{\partial T}{\partial t} \partial t \partial x \partial y &= \int_t^{t+\Delta t} \int_s^n \int_w^e \left(\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) \right) \partial x \partial y \partial t + \int_t^{t+\Delta t} \int_s^n \int_w^e \left(\frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) \right) \partial y \partial x \partial t \\ &+ \int_t^{t+\Delta t} \int_s^n \int_w^e (S_c + S_p T) \partial x \partial y \partial t \end{aligned} \quad (36)$$

Ağırlık faktörü f, aşağıdaki eşitlikte kontrol hacmine ve zamana göre entegrasyonundan sonra 1 olarak kabul edilmiştir ve Eşitlik 37 elde edilmiştir.

$$\rho c \frac{\Delta x \Delta y}{\Delta t} (T_p - T_p^0) = f \left[\left(\frac{k_e (T_E - T_p)}{(\delta x)_e} - \frac{k_w (T_p - T_w)}{(\delta x)_w} \right) \Delta y + \left(\frac{k_N (T_N - T_p)}{(\delta x)_n} - \frac{k_s (T_p - T_s)}{(\delta x)_s} \right) \Delta x \right] + (1-f) \left[\left(\frac{k_e (T_E^0 - T_p^0)}{(\delta x)_e} - \frac{k_w (T_p^0 - T_w^0)}{(\delta x)_w} \right) \Delta y + \left(\frac{k_N (T_N^0 - T_p^0)}{(\delta x)_n} - \frac{k_s (T_p^0 - T_s^0)}{(\delta x)_s} \right) \Delta x \right] + \bar{S} \Delta x \Delta y \quad (37)$$

Bu integral alınır ve düzenlenirse, Eşitlik 38 cebirsel olarak elde edilir.

$$a_p T_p = a_E T_E + a_w T_w + a_N T_N + a_S T_s + b \quad (38)$$

Eşitlik 38'deki her bir parametreyi aşağıdaki eşitlikler yardımı ile gösterebiliriz.

$$a_E = k_e \frac{\Delta y}{(\delta x)_e}, \quad a_w = k_w \frac{\Delta y}{(\delta x)_w}, \quad a_N = k_n \frac{\Delta x}{(\delta y)_n}, \quad a_S = k_s \frac{\Delta x}{(\delta y)_s} \quad (39)$$

$$a_p^0 = \rho c \frac{\Delta x \Delta y}{\Delta t}, \quad b = S_c \Delta x \Delta y + a_p^0 T_p^0, \quad (40)$$

$$a_p = a_E + a_N + a_S + a_p^0 - S_p \Delta x \Delta y \quad (41)$$

$$S_c = \eta_{opt} q_s - E_{elec} - h_{conv1} T_f - h_{conv2} T_{amb} - \varepsilon \sigma h_{rad} T_{sky} \quad (42)$$

$$S_p = h_{conv1} + h_{conv2} + \varepsilon \sigma h_{rad} \quad (43)$$

Işınımsal ısı transfer katsayısı h_{rad} aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir;

$$h_{rad} = (T_{PV} + T_{sky}) (T_{PV}^2 - T_{sky}^2) \quad (44)$$

İterasyon metodu ile cebirsel eşitlikler çözülürken grid noktalarındaki değişimlerin hızlandırılması veya yavaşlatılması istenebilir. Değişimin hızlandırılması işlemine overrelaxation, değişimin yavaşlatılması işlemine underrelaxation kullanılmaktadır. Genel olarak lineer problemlerin çözümünde “Successive Overrelaxation” uygulanabilir. Non-linear problemlerin çözümü ise genellikle underrelaxation gerektirir.

Cebirsel eşitliklerin çözümünden;

$$T_p = \frac{1}{a_p} [a_E T_E^* + a_W T_W^* + a_N T_N^* + a_S T_S^* + b] \quad (45)$$

Burada T^* değeri bir önceki iterasyondan elde edilmiş sıcaklık değerlerini göstermektedir. Yukardaki eşitlik tekrar düzenlenirse aşağıdaki ifade elde edilir (Eşitlik 45). Burada nb indisi komşu noktaları göstermektedir.

$$\tilde{T}_p = \frac{\sum a_{nb} T_{nb}^* + b}{a_p} \quad (46)$$

İterasyon sonunda saklayacağımız değer şöyle hesaplanabilir.

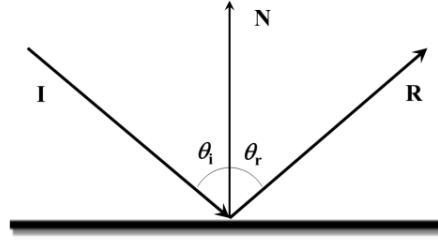
$$T_p = \alpha \tilde{T}_p + (1 - \alpha) T_p^* \quad (47)$$

Burada α relaxation faktörü olarak bilinir. Underrelaxation için birden küçük, Overrelaxation için birden büyük alınır. Bizim işlemlerimizde 1.5 olarak alınmıştır. Eşitliğin sağ tarafına P noktası için T^* değeri eklenir ve çıkarılırsa, yeni ve eski değerler arasındaki fark ve Overrelaxation faktörü ile birlikte Eşitlik 48 elde edilir.

$$T_p = T_p^* + \alpha \left[\frac{\sum a_{nb} T_{nb}^* + b}{a_p} - T_p^* \right] \quad (48)$$

2.4 Ray Tracing (Işın İzleme) Metodu

Speküler yansımaya ayna benzeri yansımaya olarak adlandırılır. Bir yüzeyden gelen ışın, yüzey normaline göre aynı geliş açısı ile yansır. Gerçek bir cismin yüzeyinde yansımaya geliş açısına bağlıdır.



Şekil 2.8: Gelen ışının speküler yansımaları

Şekil 2.8, bir gelen ışının düz bir yüzeye varışını ve speküler yansıma ile geri yansımalarını göstermektedir. Yüzey normali, N ve geliş radyasyonu I arasındaki açı, geliş açısını θ_i tanımlar. Yüzey normali, N ve yansıyan radyasyon R arasındaki açı, geliş açısını θ_r tanımlar. Bir ışın izleme modeli kurmak için R , aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$R = I - 2(N \cdot I)N \quad (49)$$

Işının her bir bileşeni yansıtıcı yüzeye göre x , y koordinatları bir vektör olarak ayrıldığında yansıtılan radyasyonun koordinatları şöyle tanımlanabilir:

$$\begin{aligned} x_R &= \cos \theta_i - 2(\cos \theta_i \cos \alpha_N + \sin \theta_i \sin \alpha_N) \cos \alpha_N \\ y_R &= \sin \theta_i - 2(\cos \theta_i \cos \alpha_N + \sin \theta_i \sin \alpha_N) \cos \alpha_N \end{aligned} \quad (50)$$

α_N sabit bir konumdaki reflektörde koordinat sistemine göre yansıtıcı yüzeydeki normalin açısıdır. Böylece yansıma açısı aşağıdaki gibi bulunabilir.

$$\theta_R = \tan^{-1} 2(y_R, x_R) \quad (51)$$

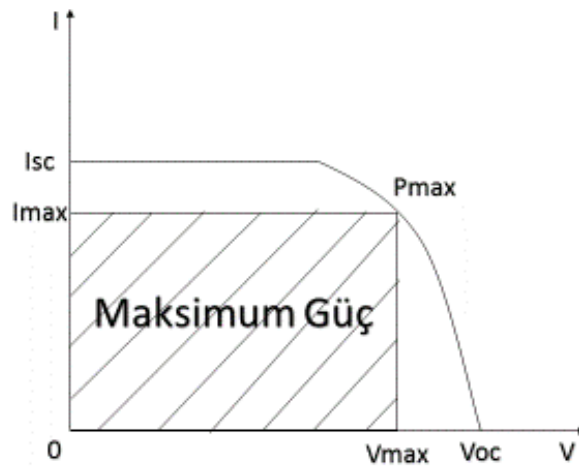
Işın aşağıdaki durumlara göre izlenir. Yoğunlaştırıcı, doğrudan veya birkaç yansıma sonrasında maksimum kabul açısıyla gelen bütün ışınlar soğurucuya ulaşabilir. Işın reflektöre çarparsa, yansıtıcılığına bağlı olarak enerjisini kaybeder ve tekrar izlenir. Işın soğurucuya çarparsa, tüm enerji soğurucu eleman üzerinde soğurulur ve konumu hafızaya alınır. Işın kabul açısının dışında bir açı ile gelirse, sadece reflektörün üst kısmının kısaltılması durumunda eğer doğrudan soğurucuya geliyorsa soğurulabilir. Yoğunlaştırıcının ideal ve üretim hatalarından arınmış olduğu varsayılmaktadır. Ayrıca üretim hatası ve montaj hatası gibi bazı hataların uygulamada optik performansları ciddi

şekilde etkileyebileceğini belirtmek gerekmektedir. (Yong vd., 2011). Difüz radyasyonun etkisi ilk aşamada analize dahil edilmemiştir. Reflektör yüzeylerindeki tüm yansımalar, spekülerdir ve yansıtma, geliş açısına ve ışının dalga boyuna bağlıdır. Optik bileşenlerin özellikleri geliş açısı ve bileşenlerin yüzey sıcaklığından bağımsızdır. Değerlendirme için FORTRAN programında yazılan ışın takip modelimizin sonuçları diğer çalışmalarla karşılaştırarak doğrulanmıştır (Ustaoglu vd., 2016).

2.5 Yoğunlaştırıcı Fotovoltaik Sistemin Elektriksel Modellenmesi

Fotovoltaik pilin elektriksel özellikleri çıkış akımı ve voltajı arasındaki ilişki olarak özetlenebilir. Güneş ışınımının miktarı ve yoğunluğu (güneş ışınlaması) çıkış akımı (I) miktarını kontrol eder ve güneş hücrelerinin çalışma sıcaklığı PV dizisinin çıkış voltajını (V) etkiler. Akım ve voltaj arasındaki ilişkiyi özetleyen güneş pili I-V karakteristik eğrileri genellikle panel üreticisi tarafından sağlanır. Bazı performans özellikleri, açık devre voltajı (V_{oc}), kısa devre akımı (I_{sc}), maksimum voltaj (V_{max}), maksimum akım (I_{max}), maksimum güç (P_{max}), doldurma faktörü (FF) ve verimliliği (η). Bu özelliklerin çoğu, Şekil 2.9'da negatif akım yönelimli olarak gösterilen akım-voltaj (I-V) eğrisi üzerinde gösterilmektedir.

$$P = I_m V_m = (FF) I_{sc} V_{oc} \quad (52)$$



Şekil 2.9: I-V Eğrisi.

Fotovoltaik pilden sağlanan maksimum gücün, pil üzerine gelen maksimum güce oranına fotovoltaik pilin verimi denir ve η simgesi ile gösterilir. Tipik bir güneş dizisinin verimliliği, kullanılan hücre tipine (monokristal, polikristal, amorf veya ince film) bağlı

olarak normalde %10-12 civarında düşüktür. Fotovoltaik pilin güç çıkışı P_m ve optik çıkış gücü P_{in} , $I(t)$ ışınım yoğunluğu, A güneş pili yüzey alanı olmak üzere pilin verimi (Khan vd., 2014) Eşitlik 53'te görülmektedir.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{V_m I_m}{P_{in}} = \frac{V_m I_m}{I(t)A} \quad (53)$$

Fill Faktörü (FF) yani doluluk faktörü, dizinin normal çalışma koşulları altında sağlayabileceği maksimum çıkış gücü ile kısa devre akımı ve açık devre voltajının çarpımına oranına bağlı ilişkidir. ($V_{oc} * I_{sc}$). Doluluk faktörü değeri dizinin kalitesi hakkında bir fikir verir, FF ile gösterilir. Seri direnç arttıkça fill faktör azalmaktadır. Doluluk faktörü 1'e yaklaştıkça dizin daha fazla güç sağlayabilir. Bu yüzden fill faktörünün 1'e yakın sayıda olması elde edilen verimin daha yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Tipik değerler 0,7 ile 0,8 arasındadır.

$$FF = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} \quad (54)$$

Maksimum elektriksel çıkış gücünün ifadesinde görünen doldurma faktörü, yukarıdaki eşitlikte tanımlanmıştır (Eşitlik 54). Doldurma faktörü silikon güneş pilleri için yaygın olarak kullanılan ve kabul edilen bir ifadedir, Green'in çalışmasına (1981) göre şöyle ifade edilir:

$$FF = \frac{V_n - \ln(V_n + 0.72)}{V_n + 1} \quad (55)$$

V_n normalleştirilmiş voltaj olup;

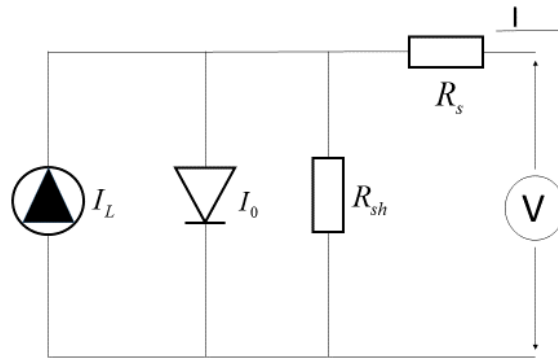
$$V_n = V_{oc} \frac{q}{kAT} \quad (56)$$

Açık-devre voltajı V_{oc} , kutupların herhangi bir yüke (açık devre koşulu) bağlı olmadığında dizinin sağladığı maksimum voltajdır. Bu değer, yük ile sabitlenen PV dizisinin çalışmasıyla ilgili V_{mp} değerinden çok daha yüksektir ve seri olarak birbirine bağlı PV panellerinin sayısına bağlıdır.

Kapalı devre akımı I_{SC} , yüke bağlı diziler tarafından sağlanan gücün (piller, invertörler) $M_{PP}=I_{mp} \times V_{mp}$ 'nin maksimum değerinde olduğu nokta ile ilgilidir. Bir fotovoltaik dizinin maksimum güç noktası, Watt (W) veya en yüksek (peak) Watt (Wp) cinsinden ölçülür. Buna göre doluluk faktörüne göre pilin verimi;

$$\eta = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{in}} 100(\%) \quad (57)$$

Bir PV hücresi aslında, bir yönde elektrik akımını geçiren ve akım geçişini diğer yönden engelleyen bir bileşen olan “LED” (Işık Yayan Diyot) adı verilen iyi bilinen bir elektronik bileşendir. Bir PV hücresinde, maksimum güneş enerjisini toplamak için kavşağın yüzeyini mümkün olduğunca geniş tutmaya çalışırız. Bir güneş pilinin açık devre gerilimi, pilden geçen akımın sıfır olduğu durumda pil uçlarında ölçülen potansiyel farkıdır. Pilin kısa devre akımı ise, sıfır gerilim altında ve aydınlatma altında pilden geçen akımdır. Bu akımın şiddeti, seri direnç etkilerinin ihmal edildiği ideal durumda ışıkla oluşan akıma eşit olup, ışıma şiddetine bağlıdır. İdeal bir güneş pili için $R_s = 0$ ve $R_{sh} = \infty$ kabul edilir.



Şekil 2.10: Bir fotovoltaik modül için eşdeğer elektrik devresi (Duffie ve Beckman 1991)

Bir fotovoltaik modül için temel model, Şekil 2.10 da gösterilmektedir. Bir fotovoltaik modülün akım-voltaj (I-V) özelliği, tek bir diyot ile tanımlanabilir (Brano vd., 2010).

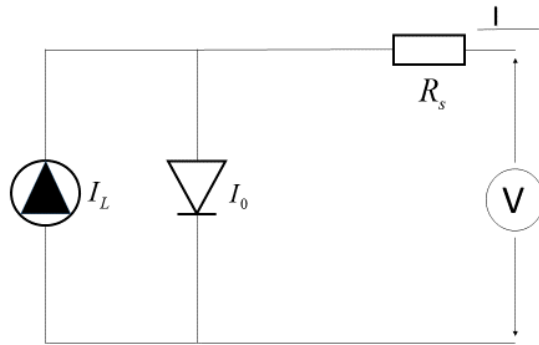
$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{mVt}\right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (58)$$

Eşitlik 58’de verilenler sırasıyla; I_L ışığa bağlı akım, I_0 , p-n diyotların ters doygunluk akımı (A), R_s hücrelerin oluşturduğu seri direnç (ohm), R_{sh} sant direnci (akımı bölerek düşük direnç ortamı yaratarak farklı bir yoldan dolaşımı sağlayan direnç), N_s serideki hücre

sayısı, n_i idealite faktörü ve $N_s \times n_i$ genellikle tek bir parametre olarak kabul edilir ve m olarak gösterilir. V_t aşağıdaki gibi tanımlanan hücre sıcaklığına bağlı olarak termal voltajdır (V) (Ishaque vd., 2011; Mahmoud vd., 2010; Siddique vd., 2013; Orioli ve Gangi, 2013; Çelik ve Açıkgöz, 2007). T_c hücre sıcaklığı (K), k Boltzmann sabiti ($J K^{-1}$) ve q elektronun (C) yüküdür.

$$V_t = kT_c / q \quad (59)$$

Bir fotovoltaik modülün akım veya voltajını tahmin etmek, fotovoltaik sistemlerden enerji üretiminin doğru bir şekilde hesaplanması için önemlidir. Bir fotovoltaik modül tarafından üretilen güç, teknik özelliklere ve çevresel değişkenlere bağlıdır. Ancak, bir model genellikle bu teknik özelliklerin ve çevresel değişkenlerin en önemlilerinden oluştuğundan, bir fotovoltaik modülün performansı üzerindeki her bir etkiyi hesaplayan bir model elde etmek neredeyse imkansızdır. Modeller genellikle, standart değerlendirme koşullarındaki elektrik performansı veya kısa devre akımı veya açık devre voltaj sıcaklık katsayıları gibi modül üreticileri tarafından yaygın olarak kullanılan parametreleri içerir. Maksimum güç noktasında akım ve voltajın yanı sıra hava kütlesi, geliş açısı, radyasyon ve dağınık ışınımın etkisini tanımlayan sıcaklık katsayıları genellikle üreticiler tarafından sağlanmadıkları için modellerden kaçınılır. Şekil 2.11'de dört parametrelilik bir elektrik devresi gösterilmektedir.



Şekil 2.11: Bir fotovoltaik için dört parametrelilik elektrik devresi

R_{sh} 'ni sonsuz olarak kabul edip genel eşitliğe uygularsak, dört parametrelili model Eşitlik 60'daki gibi yazılabilir;

$$I = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{(V + IR_s)}{mVt}\right) - 1 \right] \quad (60)$$

Bir PV hücresi tarafından üretilen maksimum akıma kısa devre akımı denir (I_{sc}) ve voltaj sifira eşit olduğunda elde edilir (yani $V = 0$). Genel kısa devre akımınının fotonik akıma yakın olduğu varsayılabilir, $I_{sc} \approx I_L$. Bir PV hücresinin ürettiği maksimum voltaja açık devre gerilimi denir (V_{oc} belirtilir) ve akım sifira eşit olduğunda elde edilir (yani $I = 0$). Akım sifira eşit alındığında, eşitlikteki akım ve voltaj ilişkisi aşağıdaki ifadeye yol açar .

$$V_{oc} = \frac{kAT}{q} \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right) \quad (61)$$

Güç eşitliğini genel eşitliğe uygulanırsa (Eşitlik 62);

$$P = \left\{ I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{(V + IR_s)}{mVt}\right) - 1 \right] \right\} V \quad (62)$$

Genel eşitlikte gerekli dört parametreyi tanımlamak için bir yöntem Kou vd. (1998) tarafından özetlenmiştir. Eşitlikte kullanılan mVt parametresini geliştirerek yerine α ifadesini kullanmışlardır. Kısa devre akımı $V=0$ olduğu zaman şöyle denilebilir;

$$I_{L,ref} = I_{sc,ref} \quad (63)$$

Eşitlik 64, 65 ve 66 bir fotovoltaik modülün özelliklerine bağlı olarak referans koşullar altındaki diğer parametreleri hesaplamak için kullanılmaktadır.

$$\alpha_{ref} = \frac{\mu_{V,oc} T_{c,ref} - V_{oc,ref} + E_g N_s}{\frac{T_{c,ref} \mu_{I,sc}}{I_{L,ref}} - 3} \quad (64)$$

$$I_{o,ref} = \frac{I_{L,ref}}{\exp\left(\frac{V_{oc,ref}}{\alpha_{ref}}\right) - 1} \quad (65)$$

$$R_{s,ref} = \frac{\alpha_{ref} \ln\left(1 - \frac{I_{mp,ref}}{I_{L,ref}}\right) - V_{mp,ref} + V_{oc,ref}}{I_{mp,ref}} \quad (66)$$

E_q , silikonun (eV) bant boşluk enerjisidir, N_s tek modülde serideki hücre sayısı, $\mu_{v,oc}$ açık devre voltajının sıcaklık katsayısı, $\mu_{l,sc}$ kısa devre akımının sıcaklık katsayısı Gerekli olan hücre parametreleri Çalışma hücre sıcaklığı ve güneş ışınımındaki i daha sonra aşağıdaki eşitliklerin yardımı ile bulunur (Siddiqui vd., 2012).

$$I_L = \left(\frac{G}{G_{ref}}\right) [I_{L,ref} + \mu_{l,sc}(T_c - T_{c,ref})] \quad (67)$$

$$I_o = I_{o,ref} \left(\frac{T_c}{T_{c,ref}}\right)^3 \exp\left[\left(\frac{E_q N_s}{a}\right) \left(1 - \frac{T_{c,ref}}{T_c}\right)\right] \quad (68)$$

$$R_s = R_{s,ref} \quad (69)$$

$$a = a_{ref} \frac{T_c}{T_{c,ref}} \quad (70)$$

Fotovoltaik paneller, voltajı veya akım kapasitesini arttırmak için hem seri veya hem de paralel kombinasyonlar da kablolanabilir veya birbirine bağlanabilirler. Paneller seri olarak birbirine bağlanırsa gerilim artmakta ve paralel olarak birbirine bağlanırsa akım artmaktadır.

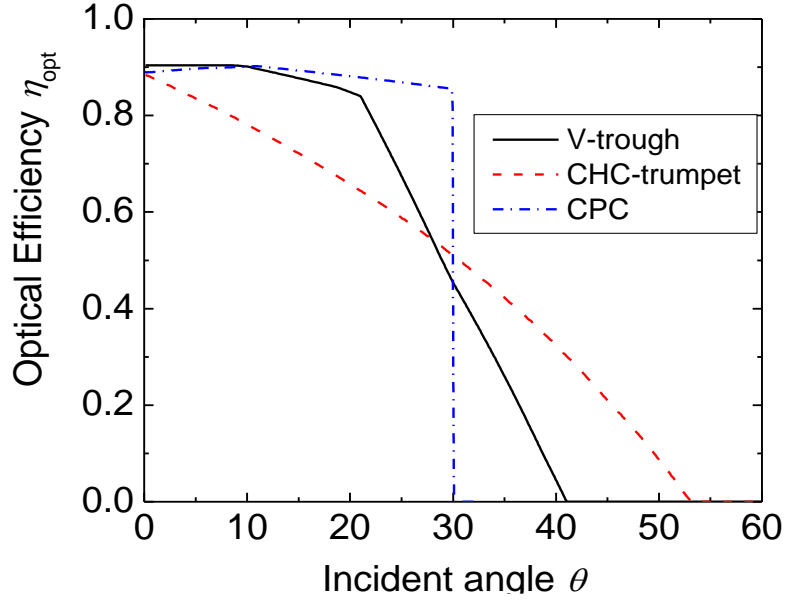
BÖLÜM 3

BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1 PV Üzerinde Oluşan Enerji Akışı Dağılımları

Yoğunlaştırılmış radyasyon altında bir hücre performansını öngörmek için en kolay yaklaşım, PV hücre alanı boyunca düzgün bir akı dağılımını varsaymak ve yoğunlaştırma oranına ilişkin güneş radyasyonu hesaba katılarak ortalama bir güneş radyasyonu değeri elde etmektir. Bununla birlikte, güneş aydınlatması alıcı alan boyunca muntazam bir aydınlatma ortaya koymaktadır. Bu nedenle, uniformluğa karar vermek için PV üzerinde akı dağılımını araştırmak oldukça önemlidir. Akı dağılımına karar vermek için tüm CPV'ler için iki boyutlu bir Ray Tracing analizi yapılmıştır. Geliş açısı, maksimum kabul açısı ile normal geliş açısı arasında değiştirilmiştir.

Daha önce de belirtildiği gibi, V-trough, normal geliş açısı ile gelen bir ışının reflektörün üst ucundan yansıdığı ve PV hücresinin ölü merkezine ulaştığı durum için tasarlanmıştır. Böylece, sağ ve sol reflektörler, tüm radyasyonu PV hücresi boyunca eşit olarak dağıtabilmektedir. Bu tasarım, maksimum yoğunluğu V-trough için yoğunlaştırma oranını iki olarak sınırlar. Konsantrasyon oranı ikiden az almak zorunda olduğun için ve bu nedenle, tüm yoğunlaştırmalar 1,94 yoğunlaştırma oranına sahip olarak kabul edilmiştir. Reflektörün yansıtıcılığı, cam kapağın PV hücresine geçirgenliği ve PV hücresinin emiciliği sırasıyla 0,9, 0,92 ve 0,9 olarak kabul edilmiştir. Bu parametrelere bağlı olarak CPC, V-trough ve CHC-trumpet geometrileri için geliş açısına bağlı optik verimleri Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Tablo 3.1, yoğunlaştırıcıların tasarım parametrelerini göstermektedir. Kabul açısının, güneş ışınımının kabulü için keskin bir azalmanın meydana geldiği bir açı olduğu varsayılmıştır. Maksimum kabul açısından PV hücresinin alıcı alanına hiçbir ışınım ulaşamaz. h iki boyutlu kesitte reflektörün bir tarafının uzunluğunu göstermektedir. A_r , bir CPV modülün reflektör alanını temsil etmektedir.

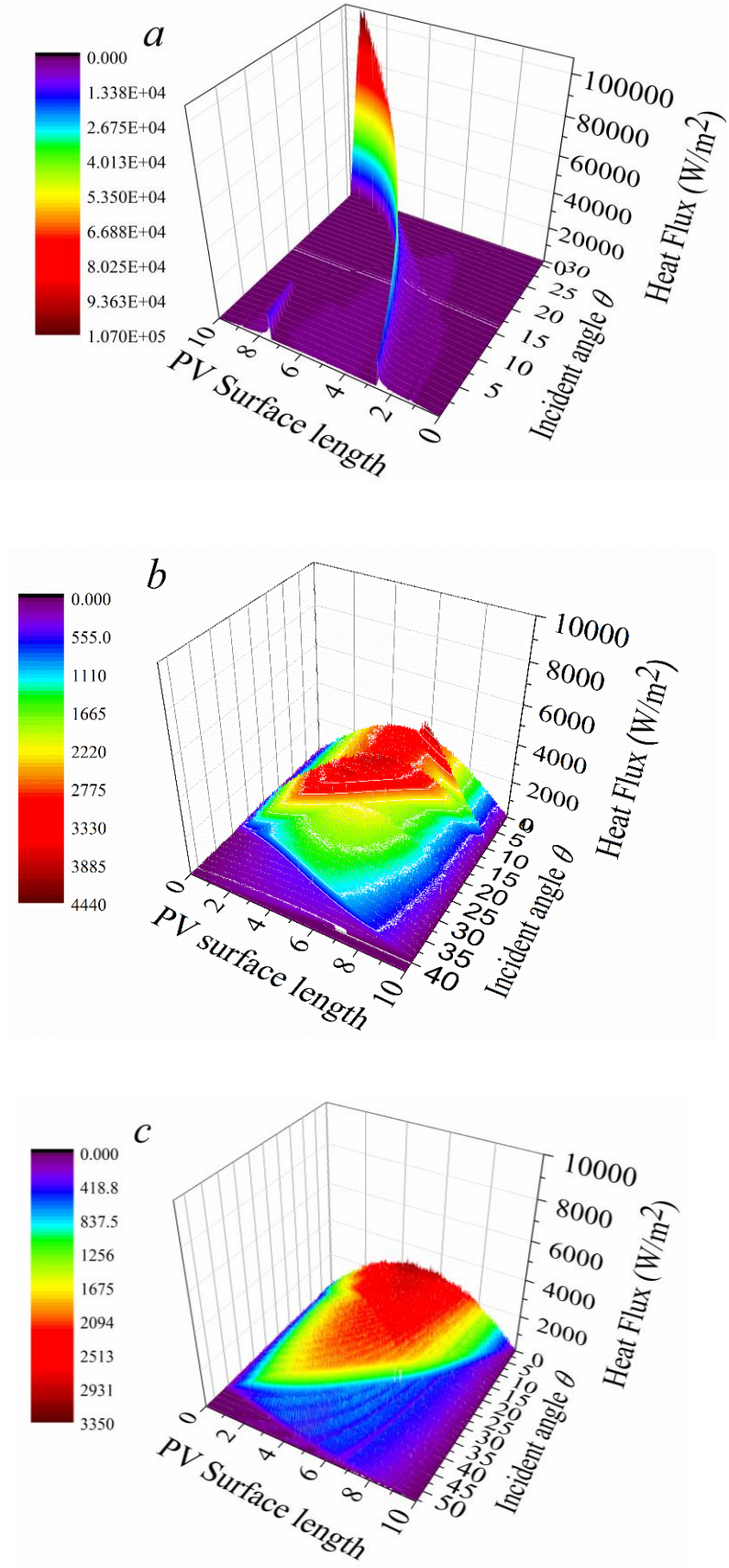


Şekil 3.1: CPC, V-trough ve CHC-Trumpet geometrilerinin optik verimleri.

Tablo 3.1: CPC, V-trough ve CHC-Trumpet geometrilerinin tasarım parametreleri.

Parametre	CPC	V-trough	CHC-Trumpet
Kabul açısı δ	31	21	-
Maksimum Kabul Açısı θ_{max}	31	42	53
Oluk Açısı ψ	-	10	-
Yoğunlaştırma oranı C	1.94	1.94	1.94
PV hücre genişliği (m)	0.1	0.1	0.1
CPV uzunluğu (m)	1.64	1.64	1.64
Reflektör uzunluğu h (m)	0.251	0.27	0.147
Reflektör yüzey alanı A_r (m ²)	0.824	0.887	0.483

PV'ler için yüksek ısı akısı ve uniform olmayan ısı dağılımı istenmeyen bir durumdur. Diğer taraftan incelendiğinde, benzer yoğunlaştırma oranlarına sahip olmalarına rağmen, diğer yoğunlaştırıcı geometrileri CPC'den daha uniformdur. Anlaşılacağı gibi, V-trough ve CHC trumpet geometrilerinin maksimum kabul açıları çok daha geniştir. Bu da geometrilerin bir güneş takip sistemi olmadan daha fazla enerji toplayacağını gösterir.



Şekil 3.2: CPC-PV (a) V-trough-PV (b) ve CHC-trumpet-PV (c) sistemlerde güneş enerji akısı dağılımı.

Şekil 3.2 farklı geliş açıları için CPC, V-trough ve CHC-trumpet yoğunlaştırıcılarının PV üzerinde enerji akışı dağılımını göstermektedir. CPC, yalnızca normal geliş açısına yakın olan açı için çoğunlukla uniform aydınlatma sağlar. Geliş açısı maksimum kabul açısına yaklaştığında, güneş ışınması daha küçük bir alana yoğunlaşarak ısı akışını artırır. Bu yoğunlaştırılmış ısı akışı, sıcak noktalara ve PV hücresinde bir sıcaklık artışına neden olabilir. Bu nedenle, uniform olarak CPC geometrisi tercih edilmeyebilir çünkü tek bir aydınlatma güneş ışınımı PV'nin güç çıkışı için oldukça önemlidir, ancak maksimum kabul açısı içinde mümkün olan en yüksek yoğunlaştırmayı sağlayabilir. Maksimum geliş açısı etrafında, enerji akışı V-trough ve CHC-trumpet yoğunlaştırıcılarda on katına kadar ulaşabilir. Oluşan fazla ısı akışı, kullanım ömürünü kısaltabilir veya PV hücresine zarar verebilir. V-trough ve CHC-trumpet geometrileri, ısı akışı dağılımında küçük bir değişiklik olmasına rağmen benzer özellikler gösterir. Radyasyonun çoğu, PV hücresinde daha geniş bir alana yoğunlaşır. PV'nin merkezi alanı, hücrenin kenarına kıyasla daha fazla radyasyon toplar fakat bir CPC kadar değildir. V-trough ve CHC-trumpet için çok fazla sıcak noktalar oluşmadığı söylenebilir. Her iki durumda da sadece yaklaşık 4.000 W/m²'lik maksimum enerji akışı oluşur. CPC için bu yaklaşık 80.000 W/m²'lik maksimum enerji akışı oluşur. Bu geometriler güneş ışınımının oldukça düzgün bir şekilde aydınlatılmasından dolayı CPV sistemlerinin verimliliği için önemli bir avantaj sağlayabilir.

3.2 Fotovoltaik Hücre Üzerindeki Sıcaklık Dağılımları

Yoğunlaştırıcı fotovoltaik (CPV) sisteminde, yoğunlaştırıcının açıklığına gelen enerjinin bir kısmı reflektörün yansıtıcılığı ve PV'nin cam tabakasının geçirgenliğine bağlı olarak PV hücresine ulaşır. Burada PV hücresinin özelliğine bağlı olarak güneşten gelen 200-2500 nm dalga boyu aralığındaki enerjinin görünür ve yakın kızıl ötesi bölümündeki enerji elektrik üretiminde kullanılırken 1100 nm den sonra termal ışımaya olarak adlandırılan enerji PV'nin ısınmasına bu elektrik veriminin azalmasına sebep olmaktadır. Bu ısı enerjisinin bir kısmı PV'nin alt ve üst yüzeylerinden ışınım ve taşınım olarak çevreye atılmaktadır. PV'nin altından geçen bakır serpantinden oluşan soğutucu akışkan sikülasyonu ile PV hücre soğutulup ve termal enerji de kullanılabilecektir. Optik kayıplardan sonra gelen enerjinin elektiriğe ve ısıl kayıplara harcanan kısım dışında termal enerji hesaplanabilmektedir.

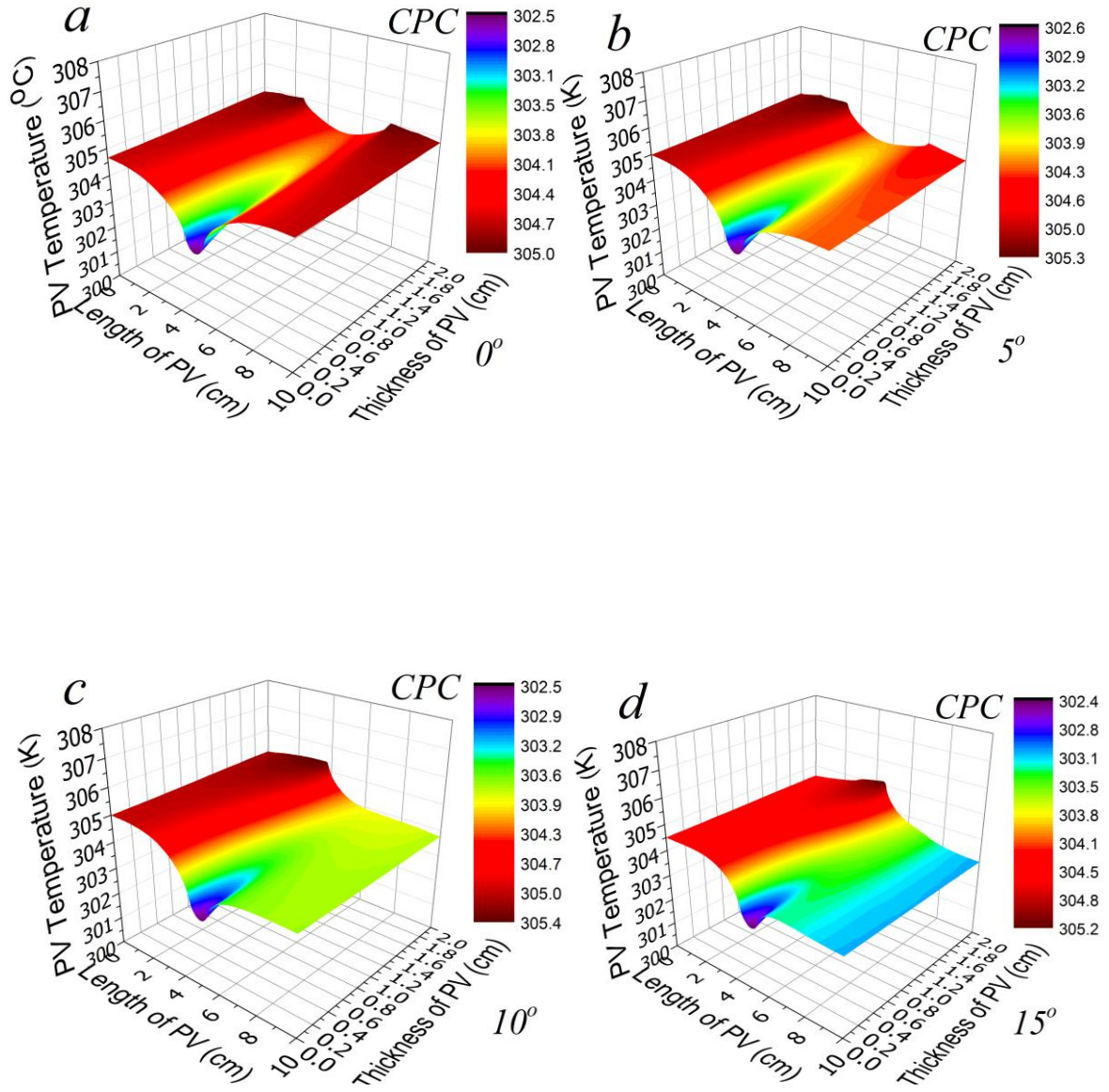
Şekil 3.3-3.8'de farklı geliş açıları için PV hücrenin nümerik analiz sonucu elde edilmiş olan sıcaklık dağılımlarını göstermektedir. Şekil 3.3-3.4'de gösterildiği gibi CPC

geometride maksimum kabul açısına yaklaşırken gelen ışınlar belirli bir bölgeye daha çok yoğunlaşmakta ve PV hücre üzerinde sıcak bölgeler oluşmaktadır. Bu sıcak bölgeler PV hücrenin veriminin azlamasına sebep olmaktadır. Hücrelerin altında akışkan dolaştırılıp soğutulması PV sıcaklığını önemli ölçüde azaltırken kabul açısına yakın gele ışınlar PV sıcaklığını arttırmaktadır. Bunla birlikte Şekil 3.5-3.6 ve 3.7-3.8’de analizi yapılmış olan V-trough ve CHC reflektörlere sahip sistemlerde kabul açısına yaklaşırken PV sıcaklığı azalmaktadır. Bu yüzden PV sistemlerde büyük avantaj sağlamaktadır.

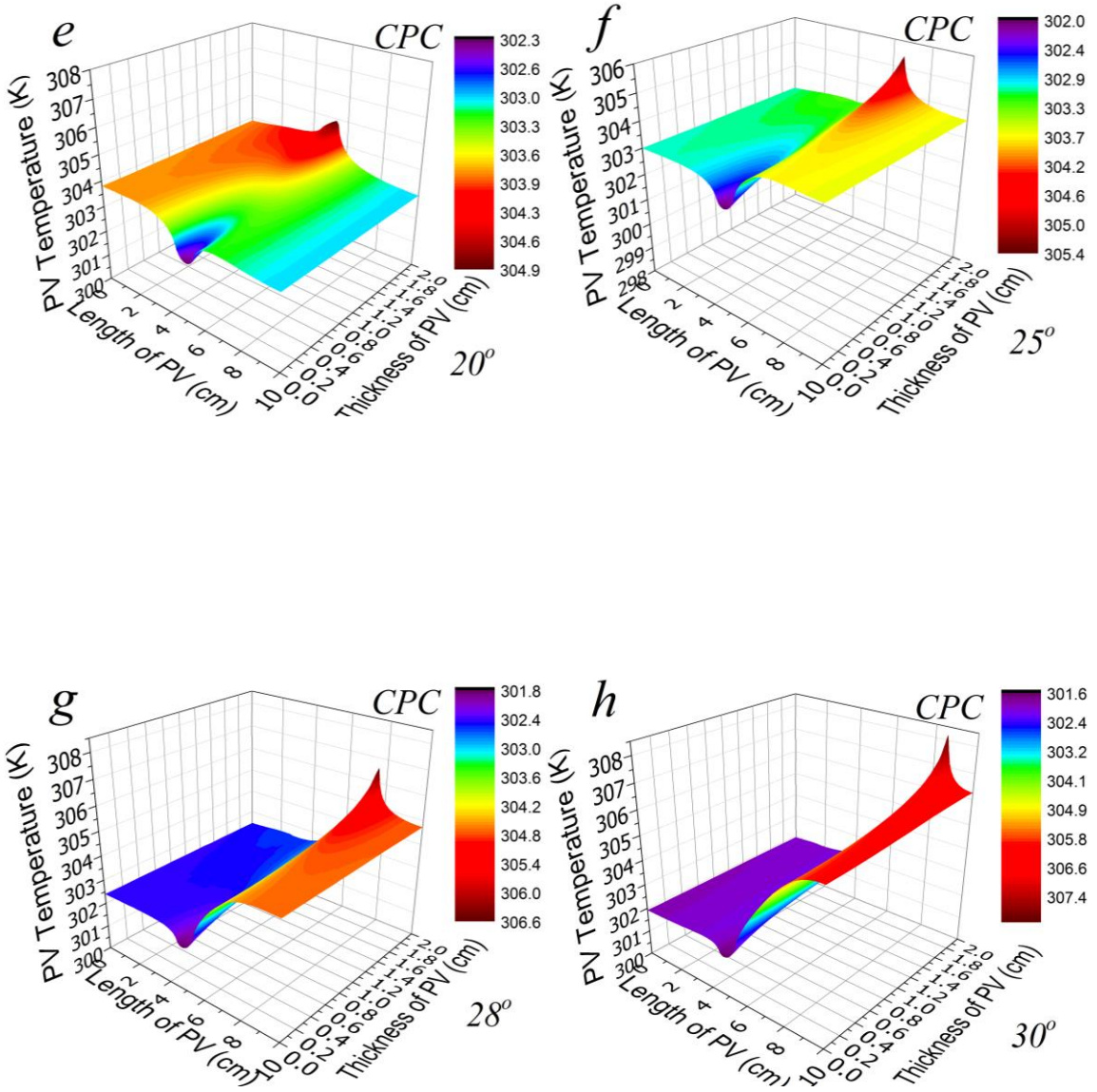
Tablo 3.2, CPC-PV, V-trough-PV, CHC-trumpet-PV sistemlerde farklı geliş açılara göre ortalama ve maksimum sıcaklıklarını göstermektedir. CPC-PV sisteminde güneşten gelen ışınlar belli bir bölgeye yoğunlaştığı için PV üzerinde sıcaklık dağılımı uniform değildir. Bu yüzden diğer sistemlere kıyasla daha fazla sıcak bölgeler oluşmaktadır. V-trough ve CHC-trumpet sistemlerinde uniformluk söz konusu olduğundan sıcak bölgelerin oluşumu azdır. Bu yüzden maksimum sıcaklıklar arasında çok büyük farklar söz konusu değildir.

Tablo 3.2: CPC-PV, V-trough-PV, CHC-trumpet-PV sistemlerde farklı geliş açılara göre ortalama ve maksimum sıcaklıklar.

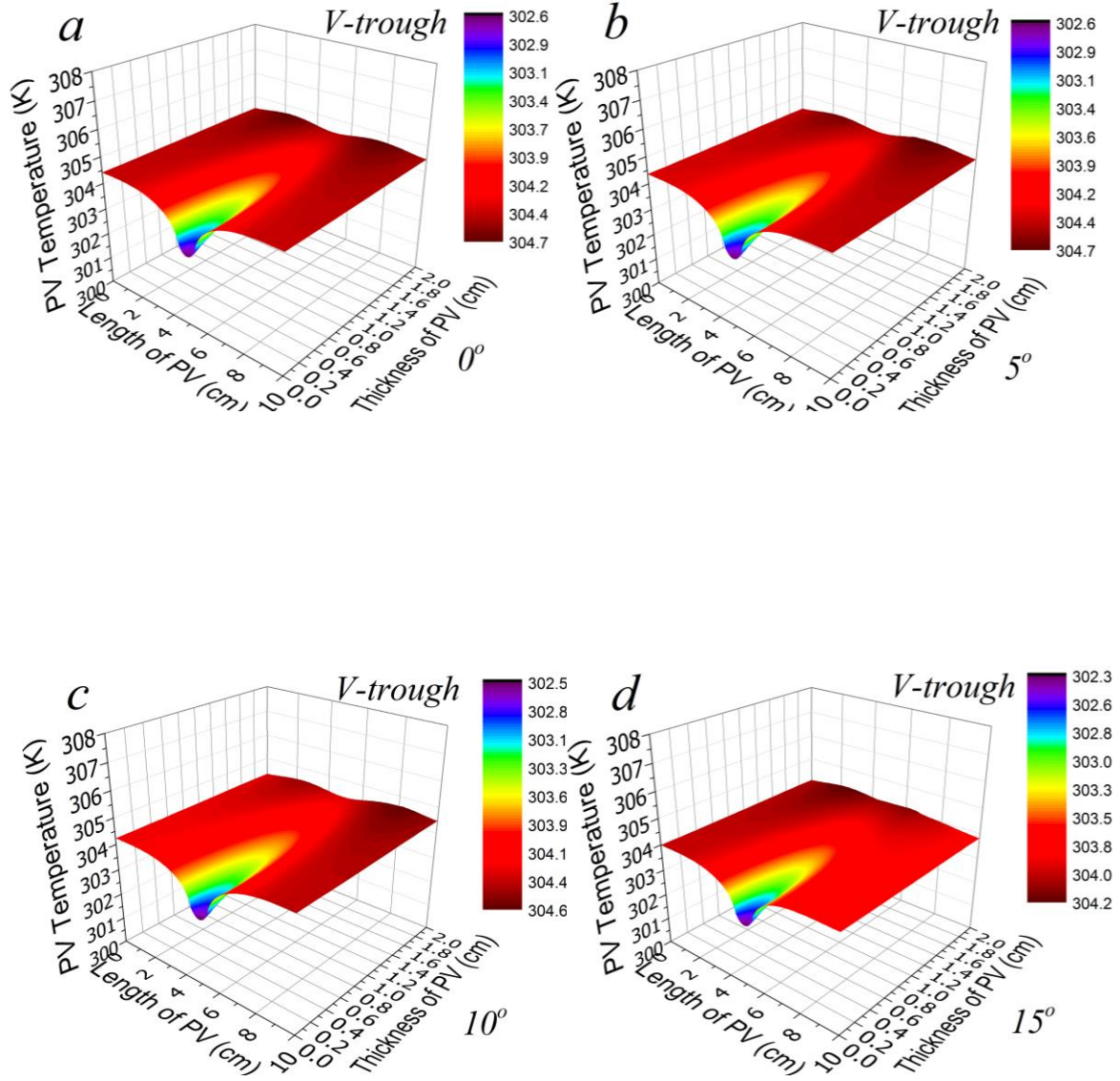
Geliş Açısı	CPC		V-trough		CHC-trumpet	
	CPC-PV Ortalama Sıcaklık	CPC-PV En yüksek Sıcaklık	V-trough PV Ortalama Sıcaklık	V-trough PV En yüksek Sıcaklık	CHC-trumpet PV Ortalama Sıcaklık	CHC-trumpet PV En yüksek Sıcaklık
0°	304,3790	305,0037	304,3069	304,6748	304,1984	304,5663
5°	304,3763	305,3099	304,2787	304,6773	303,8157	304,273
10°	304,2247	305,3598	304,1866	304,6305	303,3748	303,7658
12°	304,1021	305,3336	304,0571	304,4984	303,1885	303,4823
15°	303,8543	305,1621	303,8231	304,2329	302,7812	303,1329
18°	303,6316	305,0312	303,6307	304,2811	302,3674	302,8563
20°	303,5035	304,9168	303,4837	304,2605	302,1998	302,6068
22°	303,4181	304,8667	303,0862	303,7883	301,7982	302,2689
25°	303,3599	305,4466	302,0993	302,6721	301,5691	302,0664
28°	303,3717	306,6173	301,0643	301,3329	301,161	301,71
30°	303,4327	308,2306	300,3813	300,6014	300,8939	301,4713
35°			299,0238	299,3195	300,2071	300,8034
40°			297,6539	297,7983	299,5044	300,0292



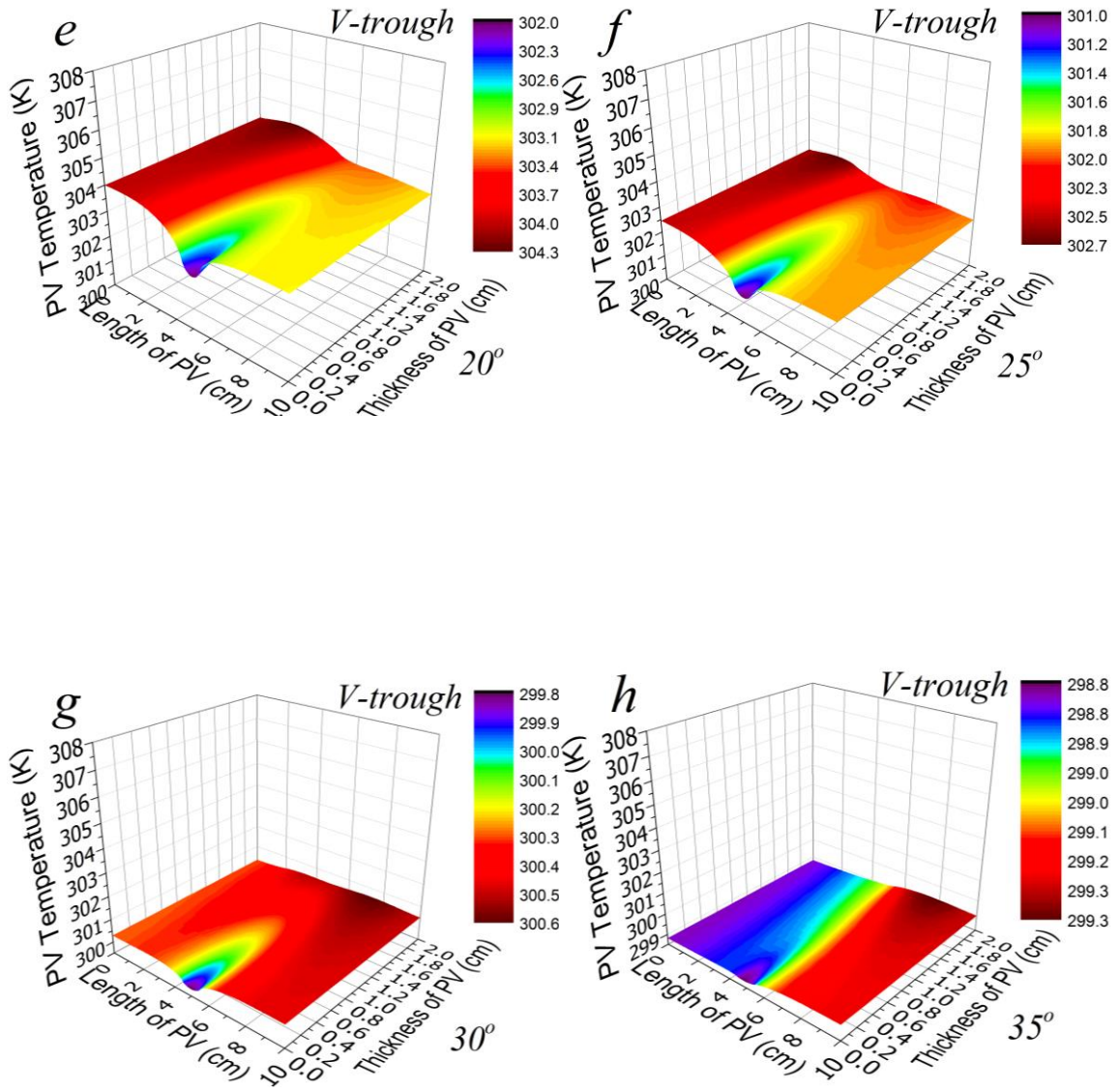
Şekil 3.3: CPC-PV sistemde 0° (a), 5° (b), 10° (c), 15° (d), 20° (e), 25° (f), 28° (g) ve 30° (h) geliş açıları için PV sıcaklık dağılımları.



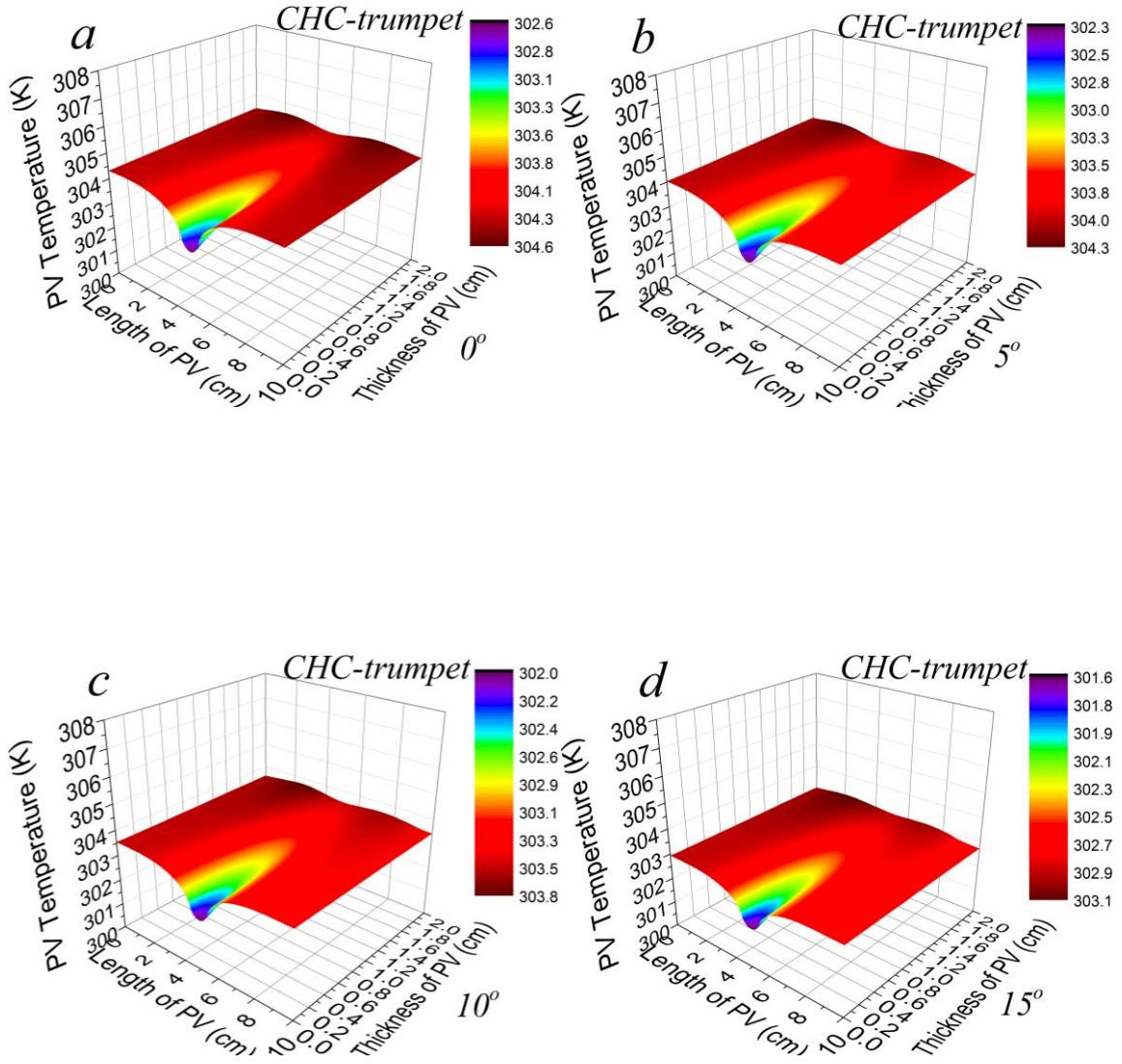
Şekil 3.4: CPC-PV sistemde 0° (a), 5° (b), 10° (c), 15° (d), 20° (e), 25° (f), 28° (g) ve 30° (h) geliş açılı için PV sıcaklık dağılımları (Devamı).



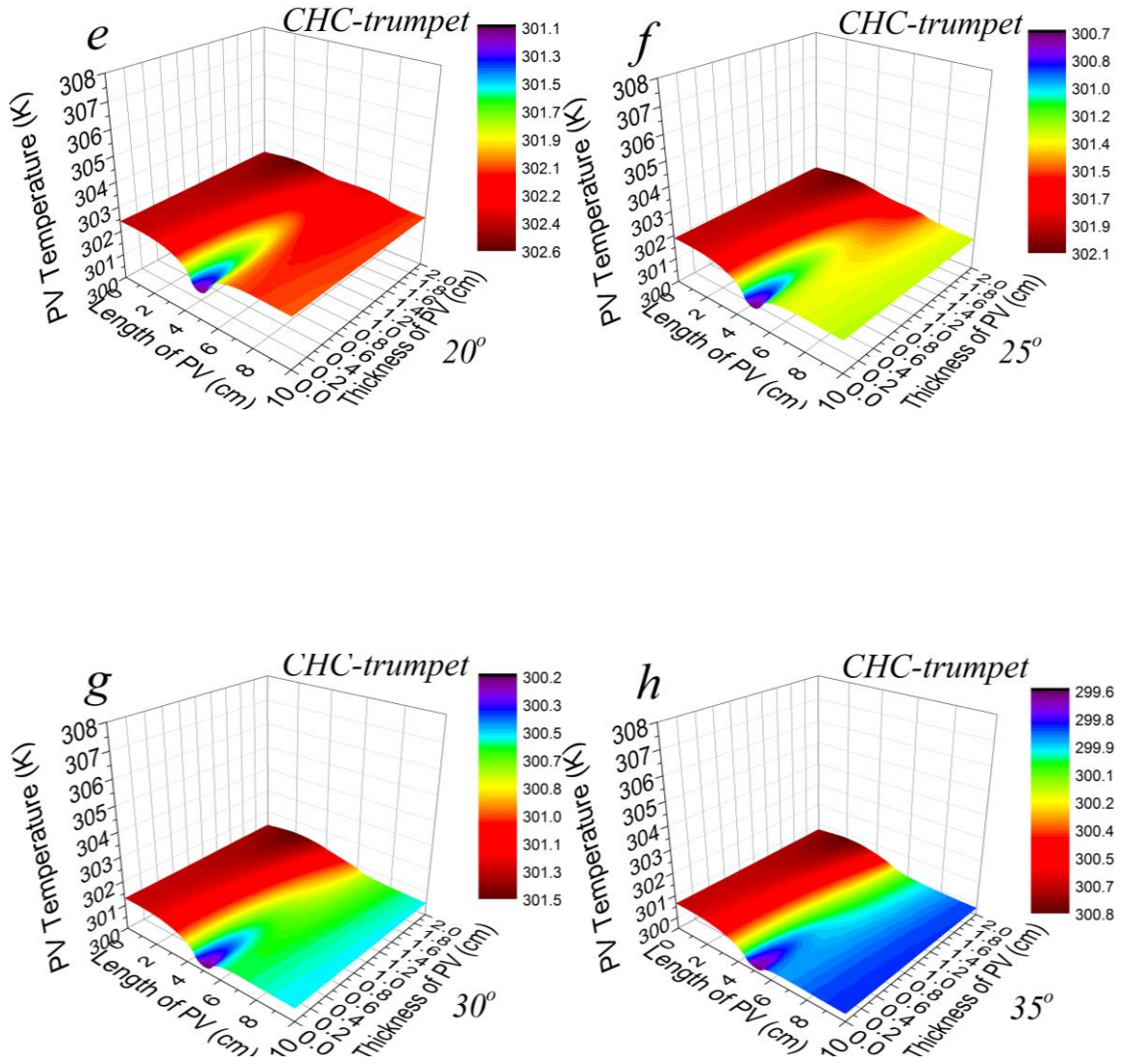
Şekil 3.5: V-trough-PV sistemde 0° (a), 5° (b), 10° (c), 15° (d), 20° (e), 25° (f), 30° (g) ve 35° (h) geliş açılı için PV sıcaklık dağılımları.



Şekil 3.6: V-trough-PV sistemde 0° (a), 5° (b), 10° (c), 15° (d), 20° (e), 25° (f), 30° (g) ve 35° (h) geliş açılırları için PV sıcaklık dağılımları (Devamı).



Şekil 3.7: CHC-trumpet-PV sistemde 0° (a), 5° (b), 10° (c), 15° (d), 20° (e), 25° (f), 30° (g) ve 35° (h) geliş açıları için PV sıcaklık dağılımları.



Şekil 3.8: CHC-trumpet-PV sistemde 0° (a), 5° (b), 10° (c), 15° (d), 20° (e), 25° (f), 30° (g) ve 35° (h) geliş açılı için PV sıcaklık dağılımları (Devamı).

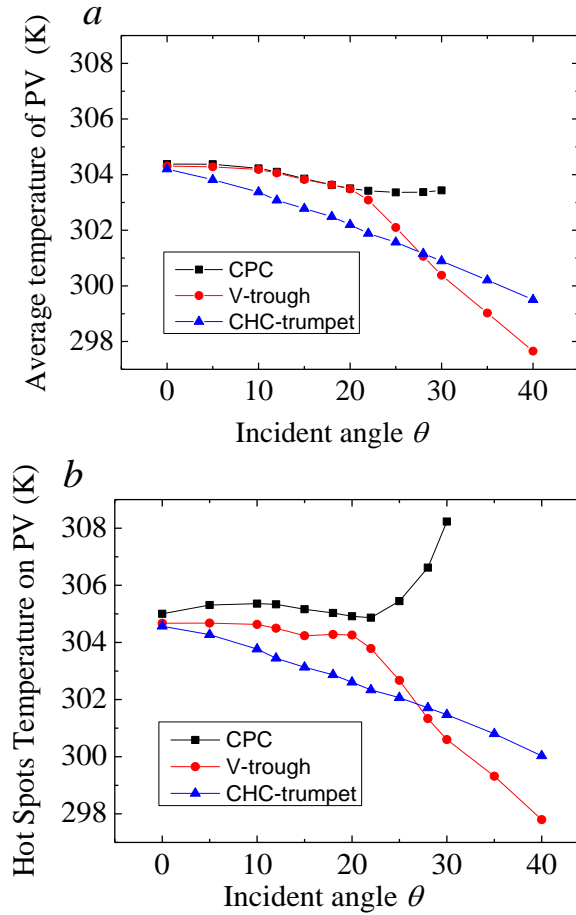
Uygulanan soğutma işlemi PV hücresinin ortalama sıcaklığını azaltır. Geliş açısının derecesindeki artış, sıcaklık dağılımını değiştirir ve üniform olmayan bir dağılım ortaya çıkarır. 15°'lik geliş açısında bir sıcak nokta oluşmaya başlar ve bu nokta PV'nin sağ tarafına doğru eğilim gösterir. Geliş açısı arttıkça oluşan sıcak noktalar, sistemde dolaşımı sağlanan soğutma suyu ile azaltılmakta veya ortadan kaldırılmaktadır. Şekil 3.3-3.4'te görüldüğü gibi, azami sıcaklık farkı, normal açıdan maksimum kabul açısına kadar, geliş açısı değiştiğinden 2,5 K'den 7 K'ne çıkmaktadır.

Şekil 3.5-3.6, PV-V-trough sistemi için sıcaklık dağılımını göstermektedir. PV'nin üst kısmında 15°'lik açıya kadar sıcaklık dağılımı çoğunlukla üniform iken PV'nin alt tarafının merkez sıcaklığı soğutma sıvısı ile azalmaktadır. Bu açıdan sonra, PV hücresinin sol ve sağ tarafları arasındaki sıcaklık farkı artarken, aynı zamanda PV hücrenin sağ tarafındaki sıcaklığı azalmaktadır. Bu azalma güneş ışınımının yoğunluğunun azalmasından kaynaklanır. Maksimum sıcaklık farkı yaklaşık 2,1 K ila 0,5 L arasında düşmektedir.

Şekil 3.7-3.8, PV-CHC-trumpet sistemi için sıcaklık dağılımını göstermektedir. Bu sistem de V-trough sistemi ile oldukça benzer özellikler göstermektedir. Sıcaklık PV'nin üst kısmında çoğunlukla 20°'lik geliş açısına kadar üniformdur, bu açıdan sonra sıcaklık farkı artmaya başlamaktadır. Maksimum sıcaklık farkı, normal geliş açısından 35°'lik açıya kadar yaklaşık 2 K ila 1,2 K arasında düşmektedir. Sonuçlar, V-trough ve CHC-trumpet geometrilerinin CPC geometrisi ile karşılaştırıldığında oldukça düzgün bir aydınlatma ve sıcaklık dağılımına sahip olduğunu ve birbirleriyle oldukça benzer özelliklere sahip olduklarını göstermektedir. Oluşan sıcaklık bölgelerinin sıcaklığı, gelen açı maksimum kabul açısına yaklaştıkça yükselmektedir.

Sıcaklıkların kesin değerlerini görmek daha iyidir. Bu nedenle, Şekil 3.9'da görüldüğü gibi tüm yoğunlaştırıcılar için sıcak noktalar ve ortalama PV sıcaklıkları gösterilmiştir. CPC ve V-trough için PV'lerin ortalama sıcaklığı hemen hemen aynıdır ve 20°'lik geliş açısına kadar 304 K'lık bir sıcaklıkta kaldığı gözlemlenmiş olup, geliş açısı arttıkça sıcaklığın CPC için stabil kaldığı, fakat V-trough yoğunlaştırıcının daha düşük enerji toplaması nedeniyle sıcaklık azalmıştır. CHC-trumpet yoğunlaştırıcının ortalama sıcaklığı, geliş açısı arttıkça kademeli olarak azalır. Sıcak bölgelerin sıcaklıkları düzensizliği (üniform olmaması) belirlemede oldukça önemlidir. Şekil 3.9 (b)'de görüldüğü gibi, en yüksek sıcaklık CPC geometrisinde ortaya çıkmakta, ardından V-trough ve CHC-trumpet

geometrileri gelmektedir. Bu durum, 27°'lik geliş açısından sonra değişmekte, bu açıdan sonra V-trough yoğunlaştırıcıya sahip PV hücre sıcaklığı, CHC yoğunlaştırıcıya sahip PV hücre sıcaklığının altına düşer. 20°'lik geliş açısından sonra CPC'nin sıcaklığı, V-trough ile 40°'lik geliş açısına kadar önemli ölçüde artar.

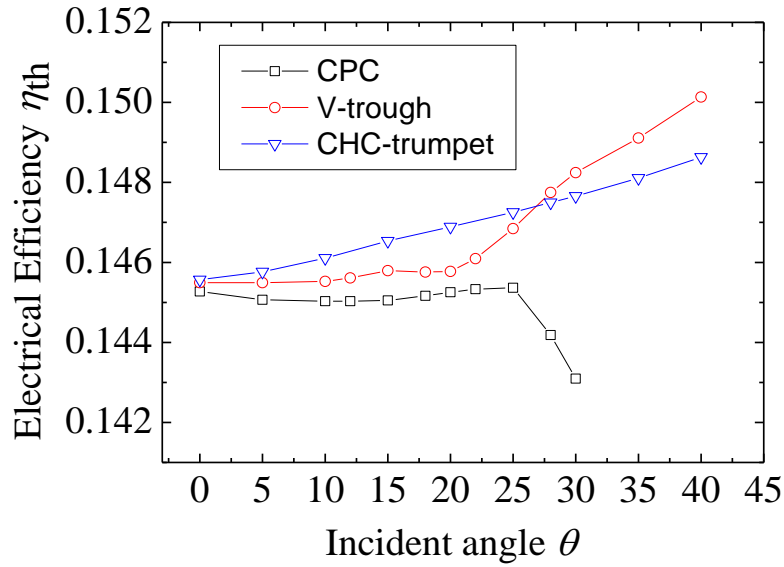


Şekil 3.9: CPC, V-trough ve CHC- trumpet sistemleri ayarlanmış PV'nin ortalama (a) ve sıcak bölge (b) sıcaklıkları.

3.3 PV Hücresinin Elektriksel Performansı

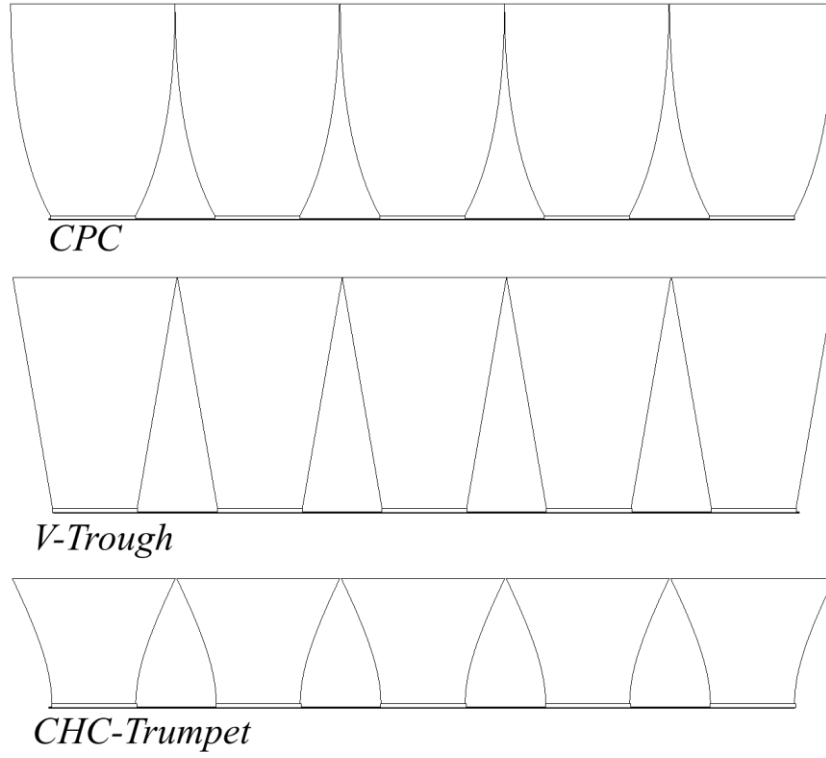
CPC, V-trough ve CHC-trumpet sistemleri için %15'lik bir elektrik verimliliği olan bir fotovoltaik sistem seçilmiştir. Referans sıcaklığı ve sıcaklık katsayısı sırasıyla 298 K ve 0,0045 olarak alınmıştır. PV hücre sıcaklığına bağlı olarak, aynı yoğunlaştırma oranlarına sahip üç farklı panel, elektrik verimliliği ve güç çıktıları açısından karşılaştırılmıştır. En yüksek sıcaklık bir PV hücre sıcaklığı olarak ayarlanmıştır, çünkü PV'nin son sıcaklığı çoğunlukla en yüksek sıcaklıktan etkilenmektedir. Böylece, sıcak noktaların etkisi açıkça belirtilebilir. Ayrıca geliş açısı bir hesaplama parametresi olarak değiştirilmiştir.

Şekilde 3.10’da CPC, V-trough ve CHC-trumpet-PV sistemlerde geliş açısının değişimi ile PV sisteminin elektrik verimindeki değişim gösterilmektedir. Elektrik verimliliği, hücre sıcaklığı ile doğrudan ilişkilidir. Bu değerler geliş açısına bağlı nümerik analiz sonu elde edilmiş maksimum sıcaklık verilerine göre elde edilmiş sonuçlardır. CHC-trumpet için geliş açısı artarken verim de artmaktadır. CHC-trumpet sisteminin etkinliği CPC ve V-trough sisteminden daha yüksektir ve geliş açısı maksimum kabul açısına yaklaştıkça artmaktadır. CHC-trompet 20° geliş açısında önemli bir avantaj göstermektedir. 27°’lik geliş açısından sonra, V-trough sistemin verimliliği, düşük hücre sıcaklığı nedeniyle en yüksek verimlilik değerleri alır. Bununla birlikte, güneş radyasyonu yoğunluğu, yüksek geliş açıları için düşüktür. PV-CPC sistem için verim yine yaklaşık 25°’ye kadar %14,5 civarında sabit kalmakta, bu değerden sonra hızla azalmaktadır. CPC, V-trough ve CHC-trumpet sistemler için sırasıyla minimum verim değerleri %14,3, %14,5 ve %14,6 iken maksimum değerleri ise %14,49, %14,67 ve %14,7 olduğu görülmektedir.



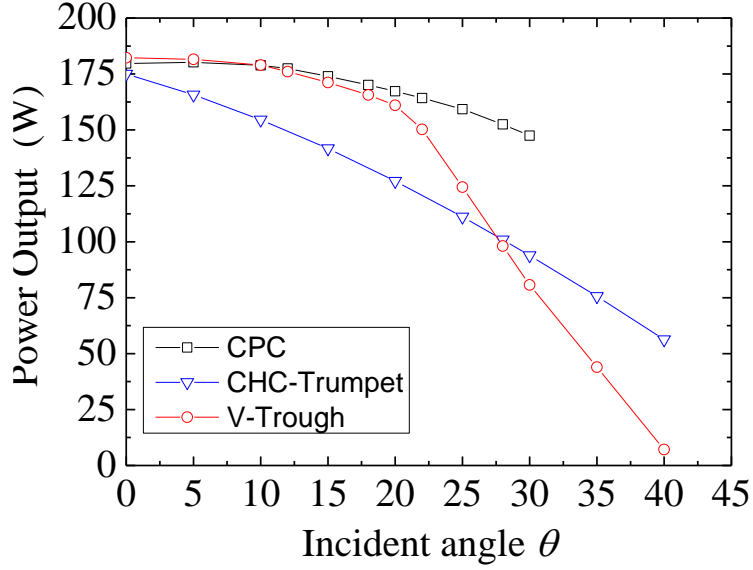
Şekil 3.10: CPC-PV, V-trough-PV ve CHC-trumpet-PV sistemlerin elektriksel verimleri.

Sonuç olarak, PV-CHC-trumpet sistemi, elektrik verimliliği açısından diğer sistemlere kıyasla daha iyi bir performans göstermektedir. Ancak, yoğunlaştırıcı sistemlerinin gerçek iyileştirme potansiyelini belirlemek için elektrik gücü çıkışını araştırmak önemlidir. Açıklık alanı Tablo 4’de belirtilen geometrik parametreyle ilgili olarak yaklaşık 0,318 m² olacak şekilde hesaplanabilir. Toplam beş modül, Şekil 3.11’de gösterildiği gibi bir CPV paneli oluşturur. Böylece, bir CPV paneli, 1,592 m²’lik bir açıklık alanına ve 0,82 m²’lik bir PV panel alanına sahiptir.



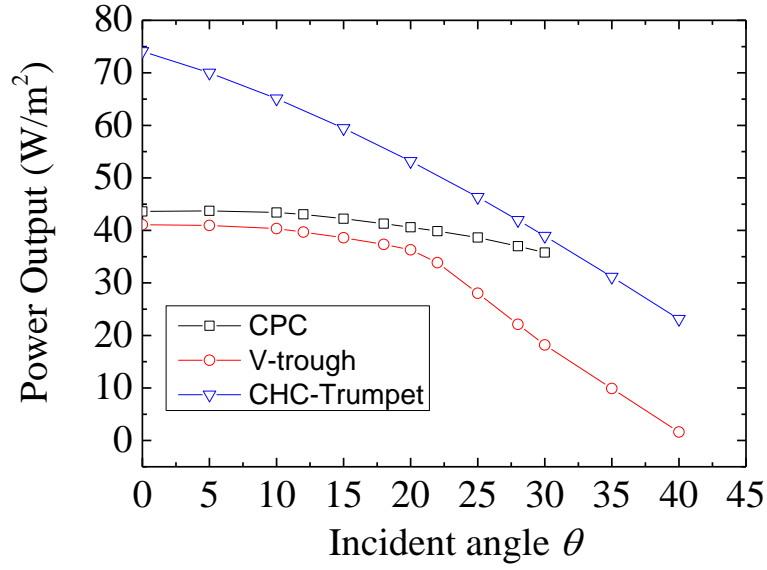
Şekil 3.11: PV-CPC, V-trough ve CHC-trumpet sistemleri.

Şekil 3.12’de geliş açlarına bağlı olarak güç çıktıları gösterilmektedir. PV-CPC ve V-trough sistemi, hafif bir farkla oldukça benzer bir güç üretmektedir. 10° ’lik geliş açısından sonra, her iki sistemin güç üretimi arasındaki fark arttığı gözlemlenmiştir. CPC, güç üretiminde kabul açısına kadar sadece küçük bir azalma ile istenilen bir performans göstermiştir. V-trough sisteminin güç üretimi, 21° ’lik kabul açısına kadar hafifçe azaldığı ve daha sonra güç üretimi sıfırlandığında azalma 40° civarlarında hızla artmaktadır. Öte yandan, CHC-trumpet için elektrik enerjisi üretimi yavaş yavaş azalmakta ve daha büyük kabul açılarında bile devam etmektedir. Daha büyük bir kabul açısı, yıllık enerji toplama için avantaj sağlayabilir. CHC’nin daha büyük bir geliş açısı, sabahın erken saatlerinde ve öğleden sonraki saatlerde avantaj sağlayabilir. CPC, V-trough ve CHC-trumpet sistemler için sırasıyla minimum verim değerleri 147,51 W, 7,17 W ve 55,91 W iken maksimum değerleri ise 179,75 W, 182,33 W ve 179,19 W olduğu görülmektedir.



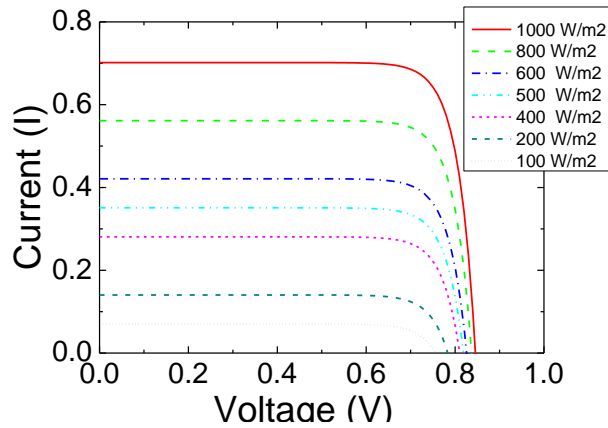
Şekil 3.12: CPC-PV, V-trough-PV ve CHC-trumpet-PV sistemlerden elde edilen güç.

Yoğunlaştırılmış fotovoltaik uygulamalarında tercih edilen bir tasarıma karar vermek için, tüm yoğunlaştırıcıların özdeş bir yoğunlaştırma oranına sahip olduğu düşünülmüştür. Böylece, enerji toplama ve güç üretimi performansı açısından makul bir karşılaştırma yapılabilir. Bununla birlikte, aynı yoğunlaştırma oranını elde etmek için, Tablo 3.1’de belirtildiği gibi farklı boyuttaki reflektörün kullanılması gerekmektedir. CHC-trumpet reflektörün, Şekil 3.11’de görüldüğü gibi benzer yoğunlaştırma oranına ulaşması için V-trough veya CPC sisteminin neredeyse yarısı kadar boyutta ve diğer sistemlerden daha az malzeme kullanılarak üretilebilir. Reflektör boyutunun (alanının) hesaba katılması için, yansıtıcı yüzey alanı başına fotovoltaik panelin güç çıkışı Şekil 3.13’te gösterildiği gibi hesaplanmıştır. CPC, V-trough ve CHC-trumpet sistemleri için sırasıyla 43 W, 40 W ve 74 W olarak maksimum değerlere ulaşmıştır. CHC sistemi diğer CPV panelleri ile karşılaştırıldığında daha iyi performans göstermiştir. Bunu, maksimum kabul açısına kadar stabil güç çıkışlı CPC sistemi takip etmiştir. V-trough, diğerlerine kıyasla en büyük reflektör alanına ihtiyaç duymaktadır. Bu nedenle, reflektör etkisi göz önüne alındığında en düşük performansa sahiptir. Bu gerçek bir güç çıkışı değildir, ancak reflektör boyutuna bağlı olarak performansı göstermek önemlidir. Sonuçlar CHC-trumpet sisteminin en ucuz enerjiyi oluşturduğunu göstermektedir. Reflektörün maliyeti minimize edildiğinde, bu etki göz ardı edilebilir çünkü, V-trough, CHC-trumpet gibi oldukça düzgün bir aydınlatmaya sahiptir ve enerjiyi iyi bir şekilde sistemde toplamaktadır. Ayrıca CPC, maksimum kabul açısı içinde mümkün olan en yüksek yoğunlaştırmaya sahiptir.



Şekil 3.13: Reflektör yüzey alanına düşen PV-CPC, V-trough ve CHC-trumpet panellerin elektrik gücü.

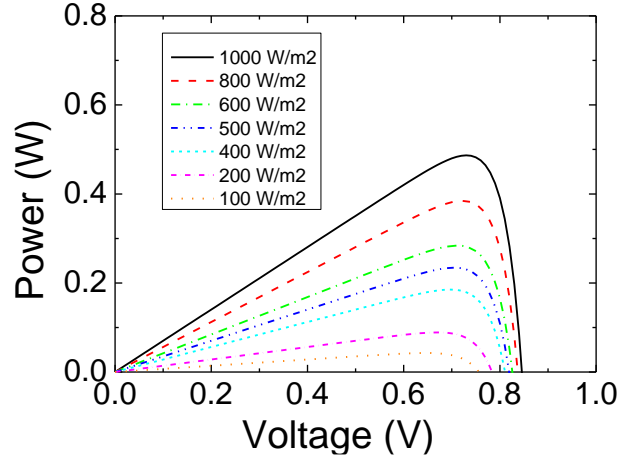
Şekil 3.14’de farklı güneş radyasyonu değerlerinin PV hücrenin akım ve voltajı üzerine etkisi sunulmuştur. Güneş radyasyonu arttıkça akım ve voltaj da artmaktadır. 0,75 V değerinde tüm güneş radyasyonu değerleri için akım değerleri hızla azalmaktadır. Açık devre voltajı hepsi için 0,75 – 0,85 V aralığında değişmektedir. Ayrıca, kısa devre akımı ise 1.000 W/m²’den 100 W/m²’ye kadar sırasıyla yaklaşık olarak 0,7, 0,56, 0,41, 0,36, 0,28, 0,15 ve 0,08 amperdir.



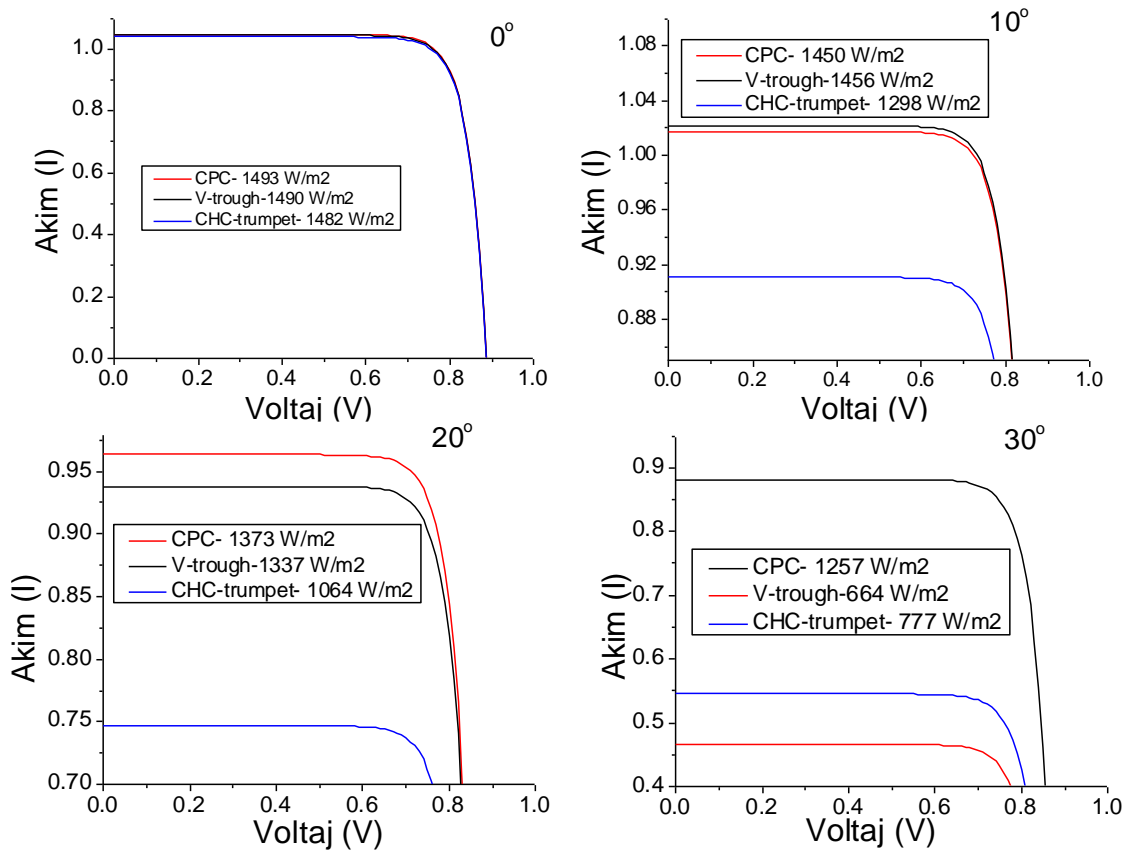
Şekil 3.14: Güneş radyasyonunun PV hücrenin akım ve voltajı üzerine etkisi.

Şekil 3.15’de farklı güneş radyasyonlarındaki voltaj değeriyle üretilen güç miktarının değişimi görülmektedir. Belli bir değere kadar voltaj arttıkça güç de artmakta, tüm güneş değerleri için yaklaşık 0,71 V değerinden sonra ise üretilen güç hızla azalarak sıfıra

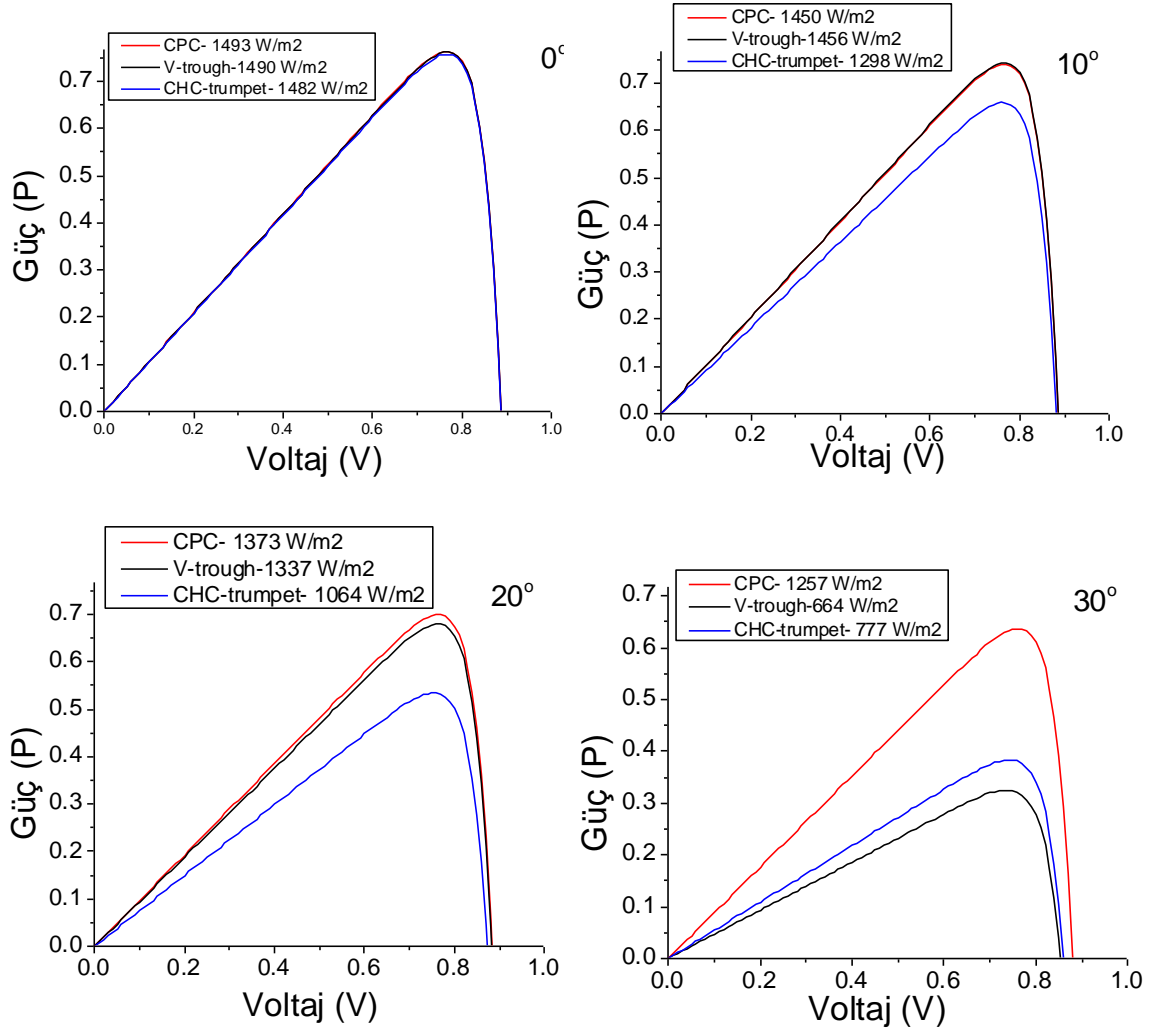
düşmektedir. Sabit bir voltaj değeri için güneş radyasyonu ile güç üretimi doğru orantılıdır. 1.000 W/m² güneş radyonu için üretilebilecek en yüksek güç miktarı yaklaşık 0,5 W iken açık devre voltajı ise 0,85 voltur.



Şekil 3.15: Güneş radyasyonunun PV hücrenin güç çıktısı ve voltajı üzerine etkisi.

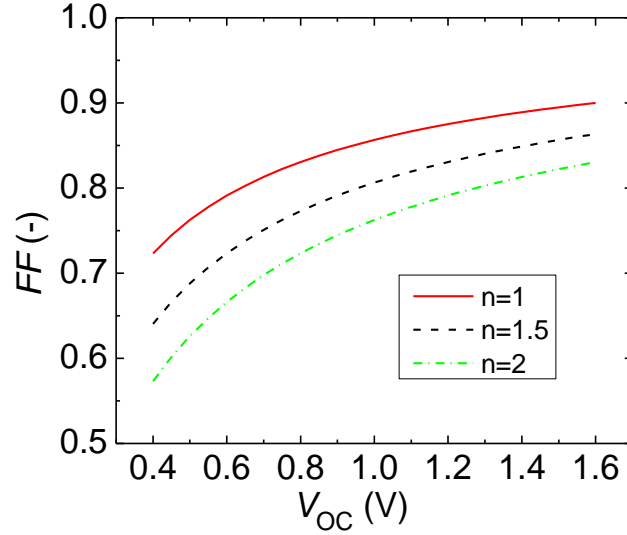


Şekil 3.16: 0°, 10°, 20° ve 30°'lik geliş açılarında CPC-PV, V-trough-PV ve CHC-trumpet sistemleri için akım-voltaj ilişkisi.



Şekil 3.177: 0°, 10°, 20° ve 30°'lik geliş açılarında CPC-PV, V-trough-PV ve CHC-trumpet sistemleri için voltaj-güç ilişkisi.

Şekil 3.16'da optik verim ve yoğunlaştırma oranına bağlı olarak hesaplanan ışınlam miktarlarından dolayı elde edilen akım-voltaj ilişkisi 0°, 10°, 20° ve 30°'lik geliş açıları için CPC-PV, V-trough-PV ve CHC-PV sistemlerine uygulanmıştır. 0° lik geliş açısında üç sistem içinde akım- voltaj ilişkilerinin birbirine çok benzer olduğu, 10°'lik geliş açısına kadar sırasıyla voltaj değerleri CPC-PV, V-trough-PV ve CHC-PV azalırken, 10°'lik geliş açısında V-trough-PV sisteminden en yüksek verim elde edilmiştir. 30°'lik geliş açısında ise CHC-trumpet-PV sistemin verimi V-trough-PV sistem veriminden fazla olduğu saptanmıştır. Şekil 3.17'de sistemlerin aynı geliş açıları altında voltaj-güç ilişkisi incelenmiştir. Akım-voltaj ilişkisi için yapılan grafiklerle aynı özellikleri göstermiştir.



Şekil 3.18: Farklı idealite faktörleri için açık devre voltajının (V_{OC}) Fill faktör (FF) üzerine etkisi.

Şekil 3.18’de farklı idealite faktörleri için açık devre voltajının (V_{OC}) Fill faktör (FF) üzerine etkisi görülmektedir. Literatürde sıklıkla kullanılan idealite değerleri $n=1-1,5$ arasındadır. Nadiren de olsa $n=2$ için çalışmalar da mevcut olduğundan burada idealite faktörü 1-2 aralığında seçilmiştir. Açık devre voltajının artmasıyla Fill faktör de artmaktadır. Sabit fill faktör için açık devre voltajı idealite faktörüyle doğru orantılı iken, sabit açık devre voltajı için fill faktör idealite faktörüyle ters orantılıdır. İdealite faktörü $n=1$ iken açık devre voltajı 0,4–1,6 V aralığında değiştiğinde fill faktör de 0,725’ten 0,9 değerine artmaktadır. Minimum ve maksimum fill faktör değerleri sırasıyla yaklaşık 0,57 ve 0,9’dur.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Aynı yoğunlaştırma oranlarına sahip bileşik parabolik (CPC), V-trough ve birleşik hiperbolik (CHC) -Trumpet yoğunlaştırıcı fotovoltaik (CPV) sistemlerin sıcaklığa bağlı performansları değerlendirildi. Elektriksel verime ve güç çıkışına karar vermek için sıcaklık etkisi dikkate alındı. CPC, V-trough ve CHC-trumpet tipi yoğunlaştırıcı-PV üzerinde ısı akısı dağılımına karar vermek için iki boyutlu Ray tracing izleme analizi yapılmıştır. İki boyutlu - PV hücresinin sıcaklığına karar vermek için sayısal bir model uygulandı. Uniformluk ve sıcaklık dikkate alınarak bir CPV uygulamasında optimum tasarım geometrisine karar vermek için elektrik performansları değerlendirildi. Aşağıdaki noktalar çalışmayı özetlemektedir.

Projenin gerçekleştirilmesi sonucunda, enerjide yüksek oranda dışa bağımlı olan ve gelen güneş radyasyonu bakımından oldukça zengin olan ülkemizde, güneş enerjisini daha verimli kullanarak enerji sorunun çözümüne katkıda bulunulacaktır. Güneş enerjisini daha verimli kullanarak ve PV-PV/T sistemlere göre nispeten daha az bir alana sahip olmasından dolayı konutlarda güneş enerjisi ile elektrik üretimine teşvik edecektir.

Çalışmadan da görülebileceği CPC'den daha yüksek verime sahip V-trough ve CHC geometrileri, bu tür hibrit yoğunlaştırıcı ve PV'den oluşan sistemlerde yaygın olarak kullanılabilir. CHC geometrisini diğer geometrilere kıyasla daha az kurulum maliyetinin olması ve nispeten daha yüksek verime sahip olmasından dolayı kullanılabilirliği artacağı gözlemlenmiştir.

1. Çalışma sıcaklığı fotovoltaik enerji dönüştürme işleminde merkezi bir rol oynamaktadır. Hem elektriksel verimlilik hem de bir PV modülünün güç çıkışı, çalışma sıcaklığına doğrusal olarak bağlıdır.

2. Verimde azalmaya neden olan sıcak bölgeleri minimize etmek, fotovoltaik hücre üzerinde daha uniform bir ışınım dağılımı sağlamaktır. Böylece PV modülün elektrik verimini ve güç üretimini arttırmak amaçlanmıştır.

3. Ayrıca PV modül için soğutucu bir sistem kullanılarak PV veriminin azalmasına sebep olan hücre üzerindeki aşırı ısınmayı engellemektedir. Bununla birlikte uzaklaştırılan bu ısı enerjisini de değerlendirerek sistemin verimini arttırmaktadır.

4. Bakır borudaki soğutma suyu sirkülasyonu PV'nin altında yer aldığından, PV'lerin alt kısımlarının sıcaklığı daha düşüktür.

5. Farklı geliş açıları için CPC-PV, V-trough-PV ve CHC-PV sistemlerinin 31° kabul açısındaki sıcaklık grafikleri sunulmuştur. Sıcaklık özelliklerine bağlı verimlerde V-trough-PV sistem en yüksek verime sahip olduğu gözlemlenmiştir.

6. Üniform olmayan aydınlatmanın etkisi, 30°'lik geliş açılarında açıkça görünmektedir.

7. Bildiğimiz gibi, V-trough yoğunlaştırıcısının 21°'lik kabul açısından sonra bile güneş radyasyonu kabul etmeye devam etmektedir. Bununla birlikte, 30°'lik geliş açısı için, kabul edilen radyasyon V-trough yoğunlaştırıcı için önemli ölçüde azalmıştır.

8. Öte yandan, CPC-PV, maksimum kabul açısındaki yüksek enerji toplama performansından dolayı güneş radyasyonunu kabul etmeye devam etmekle birlikte, maksimum kabul açısı dışında alıcı alana herhangi bir ışın ulaşamaz.

9. CHC-PV sisteminde 31° kabul açısında, geliş açılarının artması ile birlikte verimin arttığı gözlemlenmiştir. CHC-PV sistem geniş kabul açısına sahiptir.

10. Geliş açısı maksimum kabul açısına yaklaştığında, PV üzerinde önemli derecede sıcak noktalar oluşur. Böylece, sıcaklık dağılımı eşit olmayan hale gelir ve bu da elektrik performansının azalmasına neden olur.

11. Noktasal ve çizgisel yoğunlaştırıcı sistemlerde genelde bakım ve ek maliyet gerektiren güneş takip sistemlerine gereksinim duyarlar ve sadece direkt güneş ışınımını yoğunlaştırabilirler. Bu yüzden kabul açıları çok dardır ve reflektör geometrisinde oluşan en küçük bir hata verimi büyük ölçüde etkileyebilir. Bununla birlikte binalara entegre edilmesi çok zordur. Bu tür problemlere alternatif olarak sunulan ve non-imaging

yoğunlaştırıcı olarak anılan CPC, V-trough ve CHC-trumpet gibi birleşik parabolik yoğunlaştırıcılar çok geniş kabul açısına sahiptirler ve herhangi bir kabul açısında mümkün olan en yüksek yoğunlaştırmayı yapmaktadırlar. Ayrıca doğrudan gelen güneş radyasyonu dışında yayılı radyasyonda toplayabilmektedirler.

12. Maksimum kabul açısına yakın gelen ışınlarda gelen ışın belirli bir bölgeye yoğunlaşmakta ve PV hücreler üzerinde uniform olmayan ışın dağılımına ve belirli bölgelerin çok ısınmasına sebep olmaktadır. Belirlenecek optimum reflektör boyutu ile bu sıcak bölgeler minimize edilebilir.

13. V-trough-PV ve CHC-trumpet sistemlerinin CPC-PV sisteme göre daha uniform bir sıcaklık dağılımına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Verimlilik bakımından bu sistemlerin kullanılması önerilmektedir.

14. Güneş radyasyonunun uniform bir şekilde aydınlatılması, PV'nin güç üretimi için önemli bir sorundur. CPC, yalnızca güneş ışınlarının normal geliş açısı etrafında çoğunlukla eşit aydınlatma sağlar. Güneş ışınması daha küçük bir alana yoğunlaşmaya ve maksimum geliş açısına yakın enerji akısını artırmaya devam eder. Öte yandan, V-trough ve CHC-trumpet geometrileri oldukça benzer özellikler göstermektedir.

15. PV-CPC sisteminde, geliş açısının derecesindeki artış, üniform olmayan bir sıcaklık dağılımına neden olur ve dolaşım suyunun soğutma etkisi ile oluşan fazla sıcaklıklar azaltılır. 15°C'lik geliş açısında sıcak noktalar oluşmaya başlar ve bu noktalar PV'nin sağ tarafına doğru eğilim gösterir. CPC için maksimum geliş açısı için maksimum değere ulaşır.

16. Maksimum sıcaklık farkı, normal geliş açılardan maksimum kabul açısına kadar değiştiğinden, 2,5 K'den 7° K'e kadar yükselir. PV sıcaklığındaki bu artış, elektrik verimliliğini yaklaşık %0,68 oranında düşürür. Aksine, V-trough ve CHC-trumpet geometrileri için artan geliş açısı ile maksimum sıcaklık farkı düşmektedir. Maksimum sıcaklık farkı, V-trough ve CHC-trumpet için sırasıyla 2,1 K ile 0,5 K ve 2 K ile 1,2 K arasında değişmektedir.

17. CPC ve V-trough için PV'lerin ortalama sıcaklığı hemen hemen aynıdır ve 20°'lik geliş açısına kadar 304 K'lık bir sıcaklıkta kalmaktadır. Artan geliş açısına bağlı CPC'de sıcaklık aynı derecelerde sabit kalmakta fakat V-trough'da toplanan enerji miktarı azaldığından sıcaklık düşmektedir. En yüksek sıcaklığa CPC geometrisinde, ardından V-trough ve CHC-trumpet sistemleri ile ulaşılmıştır.

18. CHC-trumpet sisteminin verimliliği, CPC ve V-trough sistemlerinden daha yüksektir ve geliş açısı maksimum kabul açısına yaklaştıkça verimlilikte iyileşme sağlanmaktadır. PV-CPC ve V-trough sistemi, çok az bir farkla oldukça benzer bir güç üretir. Kabul açısı içerisinde CPC, V-trough ve CHC-trumpet sistemin ortalama verimlilikleri sırasıyla %14,49, % 14,67 ve %14,7'dir.

19. Yapılan çalışmada CPC, V-trough ve CHC-trumpet sistemler için sırasıyla minimum verim değerleri 147,51 W, 7,17 W ve 55,91 W iken maksimum değerleri ise 179,75 W, 182,33 W ve 179,19 W olduğu görülmektedir.

20. CHC sistemi, yansıtıcı yüzey alanı başına fotovoltaik panelin güç çıkışı bakımından diğer CPV panellerine kıyasla oldukça iyi bir performans gösterir. Sonuçlar CHC-trumpet sisteminin en ucuz enerjiyi oluşturduğunu göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Akbarzadeh, A. ve Wadowski, T. (1996). Heat pipe-based cooling systems for photovoltaic cells under concentrated solar radiation. *Applied Thermal Engineering*;16(1):81–7.
- Al-Baali, A. (1986). Improving the power of a solar panel by cooling and light concentrating. *Solar Wind Technology*; 3 (4):241–5.
- Alibakhsh, K., Sanaz, T., Javad, G. ve Hossein, Y. (2018). A review on parabolic trough/ Fresnel based photovoltaic thermal systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91: 193–204.
- Anderson, E. (1982). *Fundamentals of Solar Energy Conversion*, Addison Wesley, Reading, MA.
- Annual Energy Outlook (2012). U.S. Energy Information Administration Office of Integrated and International Energy Analysis U.S. Department of Energy Washington, DC 20585.
- Armstrong, S. ve Hurley, W.G. (2010). A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions. *Applied Thermal Engineering*, 30 1488e1495.
- Baranov, V.K. (1965). Optiko- Mekhanicheskaya Promyshlennost. A paper in Russian that introduces certain properties of CPCs., 6:1–5.
- Baranov, V.K. ve Melnikow, G.K. (1966). Eng. Transl: Parabolotoroidal mirrors as elements of solar energy concentrators. *Applied Solar Energy (Geliotekhnika)*, 2:9–12.
- Baranov, V.K. ve Melnikow, G.K. (1966). Study of the illumination characteristics of hollow focons. *Soviet Journal Optical Technology*, 33:408–411.
- Becker, C., Sontheimer, T., Steffens, S., Scherf, S. ve Rech B. (2011). Polycrystalline silicon thin films by high-rate electron beam evaporation for photovoltaic applications influence of substrate texture and temperature. *Energy Procedia*;10: 61–5.
- Benford, F. ve Bock, J. E. (1939). A Time Analysis of Sunshine. Trans. *Annual Conference of the Illuminating Engineering Society*, 34, 200.
- Bennett, W., Lun J., Mahmoud A., Winston R. (2018). Design and modeling of a spectrum-splitting hybrid CSP-CPV parabolic trough using two-stage high concentration optics and dual junction InGaP/ GaAs solar cells. *Solar Energy*, 165: 75–84.
- Berginc, M., Krasovec, U., Hocevar, M. ve Topic, M. (2008). Performance of dye-sensitized solar cells based on ionic liquids: effect of temperature and iodine concentration. *Thin Solid Films*;516:7155–9.

- Bione, J., Vilela, O.C. ve Fraidenraich N. (2004). Comparison of the performance of PV water pumping systems driven by fixed, tracking and V-trough generators. *Solar Energy*,76:703–711.
- Boer, K. (2011). Cadmium sulfide enhances solar cell efficiency. *Energy Conversion and Management*;52:426–30.
- Boutchich, M., Alvarez, J., Diouf, D., Cabarrocas, P., Liao, M. ve Masataka, I. (2012). Amorphous silicon diamond based heterojunctions with high rectification ratio. *Journal of Non-Crystalline Solids*. Article in Press.
- Bowden, N. ve Payne J.E. (2010).Sectoral Analysis of the Causal Relationship Between Renewable and Non-Renewable Energy Consumption and Real Output in the US. *Energy Sources Part B: Economics* (4):400-408.
- Boyle, G. (1996). *Renewable Energy, Powerfor a Sustainable Future*, 1sted. The Open University Pres, New York.
- Brano, V., Orioli, A., Ciulla, G. ve Gangi A. (2010). An improved five-parameter model for photovoltaic modules. . *Solar Energy Materials and Solar Cells*; 94(8): 1358-1370.
- Britt, J. ve Ferekides, C. (1993). *Applied Physics Letters*;62:2851.
- Brogren, M. ve Karlsson, B. (2001). Low-concentrating water-cooled PV– thermal hybrid systems for high latitudes, 17th EUPVSEC.
- Brogren, M., Nostell, P. ve Karlsson, B. (2000). Optical Efficiency Of A PV–Thermal Hybrid Cpc module for high latitudes. *Solar Energy*, Vol. 69 (Suppl.), Nos. 1–6, pp. 173–185.
- Buffet, P. (1982). Hybrid thermal and photovoltaic concentration collector, In: Proceedings of EC contractors’ meeting: Volume 3—Photovoltaic power generation; November. pp.251–256.
- Cann, M.J., Catchpole, K.R., Weber, K.J. ve Blakers, A.W. (2001). A review of thin film crystalline silicon for solar cell applications. Part 1: Native substrates. *Solar Energy Materials and Solar Cells*; 68:135–71.
- Ceylan, I. ve Ethem Gurel, A. (2018). Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı, Dora yayınları, Bursa.
- Charalambous, P.G., Maidment, G.G., Kalogirou, S.A. ve Yiakoumetti, K. (2007). Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review, *Applied Thermal Engineering* 27; 275–286.
- Chengdong, K., Xu, Z. ve Yao, Q. (2013). Outdoor performance of a low-concentrated photovoltaic–thermal hybrid system with crystalline silicon solar cells. *Applied Energy* 112, 618–625.

- Cooper, P. I. (1969). The Absorption of Solar Radiation in Solar Stills. *Solar Energy*, Volume 12, Issue 3, Pages 333-346.
- Coventry, J.S. (2005). Performance of a concentrating photovoltaic/thermal solar collector, *Solar Energy* 78,(2) 211–222.
- Çelik, A. ve Açıkgöz, N. (2007). Modelling and experimental verification of the operating current of mono-crystalline photovoltaic modules using four- and five-parameter models, *Applied Energy* 84 1–15.
- Deceased, J. A. D., ve Beckman, W. A. (1974). *Solar Engineering of Thermal Processes*. First Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- Diñçadam, F. (2008). Güneş Pilleri İle Sıcak Su Elde Etme, Sokak Aydınlatması ve Güneş Takip Sistemi Uygulaması. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Diñçer, F, Meral, M.E. (2010). Critical factors that affecting efficiency of solar cells. *Smart Grid and Renewable Energy*;1:47–50.
- Duffie, J.A. ve Beckman, W.A. (1991). *Solar Engineering of thermal processes*, second ed. John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Duffie, J.A. ve Beckman, W.A. (2013). *Solar Engineering of Thermal Processes*, Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi EYİ 2013 Özel Sayısı.
- Einstein, A. (1905). Ueber einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik* 17 (6), 132–148.
- El Chaar, L., Lamont, L.A. ve El Zein, N. (2011). Review of photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*;15:2165–75.
- Enarun, D. (1987). Bina Tasarım Aşamasında Hacim İçindeki Doğal Işık Dağılımını Belirlemek İçin Bir Model. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Engin, R. (1995). Güneş Pilleri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Fizik Bölümü Yayınları 3, 151.
- Evans, D.L. (1981). Simplified method for predicting photovoltaic array output, *Solar Energy*, 27-6, 555-560.
- Evans, D.L. ve Florschuetz, L.W. (1978). Terrestrial concentrating photovoltaic power system studies. *Solar Energy*;20:37-43.
- Evans, D.L., Facinelli, W.A. ve Otterbein, R.T. (1978). Combined photovoltaic/thermal system studies. Tempe, AZ: Arizona State University.

- Fahrenbruch, A.L. ve Bube, R.H. (1983). *Fundamentals of Solar Cells: Photovoltaic Solar Energy Conversion*. New York: Academic Press.
- Farideh, Y., Ehsan, E.B. ve Mehran, A. (2017). Performance of a parabolic trough concentrating photovoltaic/thermal system: Effects of flow regime, design parameters, and using nanofluids. *Energy Conversion and Management*, 148: 1265–1277.
- Florschuetz, L.W. (1975). On heat rejection from terrestrial solar cell arrays with sunlight concentration', *In: Proceedings of the 11th IEEE PVSC conference*. New York, USA. p. 318–326.
- Florschuetz, L.W. (1979). Extension of the Hottel–Whiller model to the analysis of combined photovoltaic/thermal flat plate collectors. *Sol Energy*;22:361–6.
- Francesconi, M. ve Antonelli, M. (2018). A CFD analysis to investigate thermal losses in a panel composed of several CPC concentrators, *Thermal Science and Engineering Progress*, 5: 278–288.
- Gakkhar, N., Soni, M.S. ve Jakhar S. (2016). Analysis of Water Cooling of CPV Cells Mounted on Absorber Tube of a Parabolic Trough Collector. *Energy Procedia*, 90: 78 – 88.
- Gallagher, J.O. (2008). *Nonimaging Optics in Solar Energy. Synthesis lectures on energy and the environment*. Morgan & Claypool Publishers.
- Garcia, M., Marroyo, L., Lorenzo, E. ve Pérez, M. (2008). Experimental energy yield in 1.5× and 2× PV concentrators with conventional modules. *Progress Photovoltaic Research Applied*; 16:261–70.
- Garg, H. P. (1982). *Treatise on Solar Energy, Vol. I*, Wiley-Interscience, Chichester.
- Garg, H.P. ve Agarwal, R.K. (1995). Some aspects of a PV/T collector/forced circulation flat plate solar water heater with solar cells. *Energy Conversion and Management*; 36:87-99.
- Garg, H.P., Agarwal, R.K. ve Joshi, J.C. (1994). Experimental study on a hybrid photovoltaic thermal solar water-heater and its performance predictions. *Energy Conversion Management*; 35 (7):621–33.
- Gibart, C. (1981). Study of and tests on a hybrid photovoltaic–thermal collector using concentrated sunlight. *Solar Cells*; 4(1): 71–89.
- Good, C., Andresen, I. ve Hestnes, A.G. (2015). Solar energy for net zero energy buildings – A comparison between solar thermal, PV and photovoltaic–thermal (PV/T) systems. *Solar Energy*;122:986–996.
- Gorter, T. ve Reinders, A. (2012). A comparison of 15 polymers for application in photovoltaic modules in PV-powered boats. *Applied Energy*; 92:286–97.

- Green, M.A. (1981). Solar cell fill factors: general graph and empirical expressions, *Solid-State Electron.* 24 (8) 788–789.
- Hatwaambo, S, Hakansson, H., Nilsson, J. ve Karlsson, B. (2008). Angular characterization of low concentrating PV– CPC using low-cost reflectors. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 92: 1347– 1351.
- Hegedus, S.S. ve Candless, B.E. (2005). CdTe contacts for CdTe/CdS solar cells:effect of Cu thickness surface preparation and recontacting on device performance and stability.*Solar Energy Materials and Solar Cells*;88:75–95.
- Hertz, H. (1887). U̇ber den Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die electriche Entladung. *Annalen der Physik* 267 (8), 983–1000.
- Hinterberger, H. ve Winston, R. (1966). Efficient Light Coupler for Threshold Cerenkov Counters. *Review of Scientific Instruments*, 37:1094–1095, August.
- Hinterberger, H. ve Winston, R. (1966). Gas Cerenkov Counter with Optimized Light Collecting Efficiency. In *Instrumentation for High Energy Physics*, page 205.
- Holter, M.R. (1962). *Fundamentals of infrared technology*. Macmillan monographs in applied optics. Macmillan.
- Hulpke, H. (2000). *Römpf Umwelt Lexikon; Georg Thieme, Stuttgart, New York, Germany, USA, 2. Auflage.*
- Iles, P.A. (2001). Evolution of space solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*; 68:1 13.
- Imenes, A.G., ve Mills, D.R. (2004). Spectral beam splitting technology for increased conversion efficiency in solar concentrating systems: a review. *Solar Energy Materials and Solar Cells*;84:19–69.
- Incropera, F.P., DeWitt, D.P., Bergman, T.L. ve Lavine, A.S.(2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Dekker Mechanical Engineering. John Wiley & Sons.
- Ishaque, K., Salam, Z., ve Taheri, H. (2011). Accurate MATLAB simulink PV system simulator based on a two-diode model. *Journal of Power Electronics*, 11, (2), pp. 179-187.
- Jackson, F. (2008). *Planning and Installing Photovoltaic Systems, A guide for installers, architects and engineers second edition*. Londra, İngiltere, 21-22.
- Jenkins, D. ve Winston, R. (1996). Integral desing method for nonimaging concentrator, *Journal of the Optical Society of America A*. 13-10, 2106-2116.
- Jones, A.D. ve Underwood, C.P. (2001). A thermal model for photovoltaic systems. *Solar Energy*, 70 (4) 349e359.

- Joshi, S.S., Dhoble, A.S. ve Jiwanapurkar, P.R. (2016). Investigations of different liquid based spectrum beam Splitters for combined solar photovoltaic thermal systems. *Journal of Solar Energy Engineering ASME Trans*;138:1–7.
- Kalogirou, S. (2009). Solar energy engineering: processes and systems: chapter 9. Academic Press; pp. 469–517.
- Kalogirou, S.A. (2004). Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science* 30 231–295.
- Kaltschmitt, M. (2006/07). *Renewable Energies; Lessons; Institute for Environmental Technology and Energy Economics, Hamburg University of Technology, Summer Term 2006 and Winter Term 2006/07.*
- Kaltschmitt, M., Streicher, W. ve Wiese A. (2007). *Renewable Energy Technology, Economics and Environment*, Springer, Germany.
- Kant, K., Shukla, A., Sharma, A. ve Biwole, P.H. (2016). Thermal response of polycrystalline Silicon photovoltaic panels: numerical simulation and experimental study. *Solar Energy* 134, 147–155.
- Karaj, I. (2012). Development of Solar Energy in Iran. *Advances in Environmental Biology*, 6(7): 2195-2202.
- Karathanassis, I.K., Papanicolaou, E., Belessiotis, V. ve Bergeles, G.C. (2017). Design and experimental evaluation of a parabolic-trough concentrating photovoltaic/thermal (CPVT) system with highefficiency cooling. *Renewable Energy*; 101: 467-483.
- Kern, J.E.C. ve Russell, M.C. (1978). ‘Combined photovoltaic and thermal hybrid collector systems’, *In: Proceedings of the 13th IEEE photovoltaic specialists*. Washington, DC, USA. p. 1153 1157.
- Khan, F., Baek, S.H. ve Kim, J.H. (2014). Intensity dependency of photovoltaic cell parameters under high illumination conditions: An analysis. *Applied Energy* 133, 356–362.
- Kondratyev, K. Y. (1965,1969).Actinometry (translated from Russian), NASA TT F-9712 (1965); also Radiation in the Atmosphere, Academic, New York.
- Kou, Q., Klein, A. ve Beckman, W.A. (1998). A method for estimating the long-term performance of direct-coupled PV pumping systems. *Solar Energy*; 64(1–3):33–40.
- Kribus, A., Kaftori, D., Mittelman, G., Hirshfeld, A., Flitsanov, Y. ve Dayan, A. (2006). A miniature concentrating photovoltaic and thermal system. *Energy Conversion and Management*; 47:3582–90.
- Kumar, R. ve Rosen, M.A. (2011). A critical review of photovoltaic-thermal solar collectors for air heating. *Applied Energy*; 88:3603–14.

- Kurt, S. (2012). Opportunities and Challenges for Development of a Mature Concentrating Photovoltaic Power Industry. NREL Technical Report. NREL/TP-5200-43208.
- Künnemeyer, R., Anderso, T.N. Duke, M. ve Carson K. (2014). Performance of a V-trough photovoltaic/thermal concentrator. *Solar Energy*, 101:19–27.
- Li, M., Ji, X., Li, G.L., Wei S.X., Li, Y.F. ve Shi, F. (2011). Performance study of solar cell arrays based on a trough concentrating photovoltaic/thermal system. *Applied Energy*; 88(9):3218–27.
- Li, W., Paul, M.C., Sellami, N., Mallick, T.K. ve Knox, A.R. (2017). Natural convective heat transfer in a walled CCPC with PV cell. *Case Studies in Thermal Engineering*, 10:499–516.
- Liljequist, G. H. ve Cehak, K. (1984). *Allgemeine Meteorologie*; Springer, Berlin, Heidelberg, Germany.
- Luque, A. ve Hegedus, S. (2003). *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. 1st Ed. Hoboken, NJ: Wiley. P. 1138.
- Luque, A., Sala, G. ve Arboiro, J.C. (1997). Some results of the EUCLIDES photovoltaic concentrator prototype. *Progress in Photovoltaics*;5(3):195–212.
- Mahmoud, Y., Xiao, W. ve Zeineldin, H.H. (2011). A Simple Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Modules. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*; 3(1): 185-186.
- Maiti, S., Banerjee, S., Vyas, K., Patel, P. ve Ghosh, P.K. (2011). Self regulation of photovoltaic module temperature in V-trough using a metal–wax composite phase change matrix. *Solar Energy* 85, 1805–1816.
- Manna, T.K. ve Mahajan, S.M. (2007). Nanotechnology in the development of photovoltaic cells. *IEEE*:379–86.
- Meyer, E.L., ve Van Dyke, E. (2003). Characterization of degradation in thin film photovoltaic module performance parameters. *Renewable Energy*;28:1455–69.
- Mittelman, G., Kribus, A. ve Dayan, A. (2007). Solar cooling with concentrating photovoltaic/thermal (CPVT) systems. *Energy Conversion and Management*; 48:2481–90.
- Nakata, Y., Kobe, T., Shibuya, N., Machida, T., Takemoto, T. ve Tsuji, T. (1982). A 30k WP concentrating photovoltaic/thermal hybrid system application. *In:Proceedings of the IEEE 16th photovoltaic specialists conference*; September,p. 993–8.
- Norton, B., Prapas, D.E., Eames, P.C. ve Probert, S.D. (1989). Measured performances of curved inverted-vee, absorber compound parabolic concentrating solar-energy collectors. *Solar Energy*, 43(5):267 – 279.

- OECD/IEA, (2012). Renewables Information 2012. ISBN 978-92-64-17388-0.
- Oktik, Ş., Tozlu, C., Eke, R., Eltez, M. ve Cetin, A. (2005). Güneş Enerjisi ve Muğla Üniversitesi Temiz Enerji Kaynakları Araştırma Geliştirme Merkezi Uygulamaları. 24. Enerji Verimliliği Haftası Etkinlikleri, 17-18 Şubat 2005 Ankara.
- Orioli, A. ve Gangi, A.D. (2013). A procedure to calculate the five-parameter model of crystalline silicon photovoltaic modules on the basis of the tabular performance data. *Applied Energy*; 102(): 1160-1177.
- Othman, M.Y., Yatim, B., Sopian, K. ve Abu Bakar, M.N. (2005). Performance analysis of a double-pass photovoltaic/thermal (PV/T) solar collector with CPC and fins. *Renewable Energy*; 30(13):2005–17.
- Othman, M.Y., Yatim, B., Sopian, K. ve Abu Bakar, M.N. (2007). Performance studies on a finned double-pass photovoltaic-thermal (PV/T) solar collector. *Desalination*;209, 43-9.
- Parida, B., Iniyar, S. ve Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*;15:1625–36.
- Perlin J. (2004). Silicon Solar-Cell Turns 50. NREL Report No. BR-520–33947.
- Proell, M., Karrer, H., Brabec, C.J. ve Hauer, A. (2016). The influence of CPC reflectors on the electrical incidence angle modifier of c-Si cells in a PVT hybrid collector. *Solar energy*; 126, 220-230.
- Rabl, A. (1976). Comparison of solar concentrators. *Solar Energy*, 18:93–111.
- Rabl, A., Goodman N.B. ve Winston R. (1979). Practical design considerations for CPC solar collectors. *Solar Energy*, 22(4):373 – 381.
- Radue, C., Van Dyke, E. ve Macabebe, E.Q. (2009). Analysis of performance and device parameters of CIGS PV modules deployed outdoors. *Thin Solid Film*;517:2383–5.
- REN21, (2011). Renewables 2011 Global Status Report, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Paris: REN21 Secretariat.
- Repins, I., Conteras, M., Egaas, B., De Hart, C., Scharf, J. ve Perkins, C.L. (2008). 19.9% efficient ZnO / CdS /CuInGeSe₂ solar cell with 81.2% fill factor. *Progress in Photovoltaics Research and Applications*; 16:235–9.
- Robinson, N. (1966) (ed.), Solar Radiation, Elsevier, Amsterdam.
- Rodriguez, D.M., Horley, P.P., Hernandez, J.G., Vorobiev, Y.V. ve Gorley, P.N. (2005). Photovoltaic solar cells performance at elevated temperatures. *Solar Energy*; 78:243–50.

- Rosell, J.I., Vallverdu, X., Lechon, M.A. ve Ibanez, M. (2005). Design and simulation of a low concentrating photovoltaic/thermal system. *Energy Conversion Management*; 46(18–19):3034–46.
- Sandeep, S., Joshi D. ve Ashwinkumar S. (2018). Photovoltaic-Thermal systems (PVT): Technology review and future trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 92 848–882.
- Sangani, C.S. ve Solanki C.S. (2007). Experimental evaluation of V-trough (2 suns) PV concentrator system using commercial PV modules. *Solar Energy Materials & Solar Cells*;91:453–459.
- Satyen, K.D. (1998). Recent developments in high efficiency photovoltaic cells. *Renewable Energy*;15:467–72.
- Shenck, N.S. (2010). Alternative energy systems. U.S. Naval Academy Lecture Readings.
- Shreekant, S. ve Reddy, K.S. (2017). Simulation studies of thermal and electrical performance of solar linear parabolic trough concentrating photovoltaic system. *Solar Energy*, 149: 195–213.
- Siddique, H., Xu, P. ve De Doncker, R. (2013). Parameter extraction algorithm for one-diode model of PV panels based on datasheet values. *2013 International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*.
- Siddiqui, M.U., Arif, A.F.M., Kelley, L. ve Dubowsky S. (2012). Three-dimensional thermal modeling of a photovoltaic module under varying conditions, *Solar Energy* 86 (9) 2620–2631.
- Singh, H., Sabry, M. ve Redpath, D. (2016). Experimental investigations into low concentrating line axis solar concentrators for CPV applications. *Solar Energy*, 136:421–427.
- Singh, P. ve Ravindra, N.M. (2012). Temperature dependence of solar cell performance-an analysis, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 101, 36–45.
- Skoplaki, E. ve Palyvos, J.A. (2009). On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: a review of efficiency/power correlations. *Solar Energy*; 83:614–24.
- Solanki, C.S. (2015). *Solar photovoltaics fundamentals, technologies and applications*. 2nd ed. New Delhi, India: PHI Learning.
- Solanki, C.S., Sangani, C.S., Gunashekar, D. ve Antony, G. (2008). Enhanced Heat Dissipation of V-trough PV Modules for Better Performance. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 92:1634–1638.
- Soliman, M.M., Shabana, M.M. ve Abulfotuh, F. (1996). CdS/CdTe solar cell using sputtering technique. *WREC*:386–9.

- Suzuki, A. and Kobayashi, S. (1995). Yearly distributed insolation model and optimum design of a two dimensional compound parabolic concentrator. *Solar Energy*, Vol. 54, No. 5, pp. 327-331.
- Şen, Z. (2007). Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques Atmosphere, Environment, *Climate Change and Renewable Energy*, Springer, Spain.
- Tabor, H. (1984). Commentthe CPC concepttheory and practice. *Solar Energy*, 33(6):629 – 630.
- Tang, R. ve Liu, X. (2011). Optical performance and design optimization of V-trough concentrators for photovoltaic applications. *Solar Energy*, 85:2154–2166.
- Tina, G.M. ve Scandura, P.F. (2012). Case study of a grid connected with a battery photovoltaic system: V-trough concentration vs. single-axis tracking. *Energy Conversion and Management* 64, 569–578.
- Ting, C.C. ve Chao, W.S. (2010). Measuring temperature dependence of photoelectric conversion efficiency with dye-sensitized solar cells. *Measurement*; 43: 1623–7.
- Tonui, J.K. ve Tripanagnostopoulos, Y. (2007a). Improved PV/T solar collectors with heat extraction by forced or natural air circulation. *Renewable Energy*; 32:623-37.
- Tonui, J.K. ve Tripanagnostopoulos, Y. (2007b). Air-cooled PV/T solar collectors with low cost performance improvements. *Solar Energy*; 81:498-511.
- Tripanagnostopoulos, Y. (2007). Aspects and improvements of hybrid photovoltaic/thermal solar energy systems. *Sol Energy*; 81:1117–31.
- Tripanagnostopoulos, Y., Nousia, T., Souliotis, M. ve Yianoulis, P. (2002). Hybrid photovoltaic/ thermal solar systems. *Solar Energy*;72(3):217–34.
- Tripathi, R. ve Tiwari, G.N. (2016). Energetic and exergetic analysis of N partially covered photovoltaic thermal-compound parabolic concentrator (PVT-CPC) collectors connected in series. *Solar Energy*,137: 441–451.
- Tripathi, R., Saini, V., Tiwari, G.N. ve Al-Helal, I.M. (2018). Electrical and thermal energy assessment of series connected N partially covered photovoltaic thermal (PVT)-compound parabolic concentrator (CPC) collector for different solar cell materials. *Applied Thermal Engineering*, 128: 1611–1623.
- Tyagi, V.V., Kaushik, S.C. ve Tyagi, S.K. (2012) Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 16; 1383– 1398.
- URL-1 (2013). IEC Standard Testing For Photovoltaic Panels, TÜV SÜD AmericaInc, <http://tuvamerica.com/services/photovoltaics/ArticleBasicUnderstandingPV.pdf> (15.03.2018)

- URL-2 (2009). Polatkan, D.S. Fotovoltaik Güneş Elektriği Sistemler. http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.emo.org.tr%2Fekler%2F2f3e889bb5275c7_ek.pdf&date, Son Erişim Tarihi: 20.03.2018.
- URL-3 (2013). İnternet: Gazi Üniversitesi Alternatif Enerji Kaynakları Ders Notları http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.obitet.gazi.edu.tr%2Fobitet%2Falternatif_enerji%2Falt_enerji_kay_ders_notlari.pdf&date, Son Erişim Tarihi: 22.03.2018.
- URL-4 (2001). <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/gunes.html>, (16.03.2018)
- URL-5 (2002). <https://tr.wikipedia.org/wiki/Enlem> (18.02.2018)
- URL-6 (2013). www.sunearths.com (04.05.2018)
- URL-7 (2013). <http://globalsolaratlas.info> (11.05.2018)
- URL-8 (2012). <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (11.05.2018)
- URL-9 (2016). <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Silicon-unit-cell-labelled-3D-balls.png> (10.03.2018)
- URL-10 (1998). http://en.wikipedia.org/wiki/Czochralski_process (03.02.2018)
- URL-11 (2001). <http://www.evergreensolar.com> (03.04.2018)
- URL-12 (2001). Fundamentals of PV material, user www.sfsu.edu/~ciotola/solarPV.pdf. (29.01.2018)
- URL-13 (2004). www.resnick.caltech.edu/learn/docs/ri_criticalmaterials_report.pdf. (15.01.2018). Critical materials for sustainable energy applications.
- URL-14 (2011). <http://am.suntech-power.com> (08.05.2018)
- URL-15 (2010). <http://www.yinglisolar.com> (10.05.2018)
- URL-16 (2008). <http://www.trinasolar.com> (10.05.2018)
- URL-17 (2008). <http://www.canadiansolar.com> (08.05.2018)
- URL-18 (2010). <http://www.sharp-solar.com> (12.05.2018)
- URL-19 (2009). <http://www.hanwha-solarone.com> (01.05.2018)
- URL-20 (2007). <http://www.jinkosolar.com> (01.05.2018)
- URL-21 (2007). <http://www.ldksolar.com> (01.05.2018)
- URL-22 (2009). <http://www.solarworld-usa.com> (02.05.2018)

- Ustaoğlu, A. (2014). A Study of a Non-imaging Concentrator and Its Application on Solar Energy. Phd. Thesis, *Tohoku University Graduate School Of Engineering*, 289 pages.
- Ustaoğlu, A., Alptekin, M., Okajima, J. ve Maruyama, S. (2016). Evaluation of uniformity of solar illumination on the receiver of compound parabolic concentrator (CPC). *Solar Energy* 132, 150-164.
- Ültanır, M.Ö. (1996), 21yy. Eşiğinde Güneş Enerjisi. *Bilim ve Teknik*, (340), 50-55.
- Veziroğlu, T.N. (1995) International Centre for Hydrogen Energy Technologies. Feasibility study. *Clean Energy Research Institute*, University of Miami, Coral Gables.
- Vrielink. J.A.M., Tiggelaar, R.M., Gardeniers, J.G.E. ve Lefferts, L. (2012). Applicability of X-ray fluorescence spectroscopy as method to determine thickness and composition of stacks of metal thin films: a comparison with imaging and profilometry. *Thin Solid Films*;520:1740–4.
- Welford, W.T. ve Winston R (1978). The optics of nonimaging concentrators: *Light and Solar Energy*. Academic Press.
- Winston, R. (1970). Light collection within the framework of geometrical optics. *Journal of the Optical Society of America*, 60(2):245–247, Feb.
- Wisam, A.M., Al-Shohani, Al-Dadah, R., Saad, M. ve Abdulmaged, A. (2016). Optimum design of V-trough concentrator for photovoltaic applications. *Solar Energy* 140 (2016) 241–254.
- Wolf, M. (1976). Performance analysis of combined heating and photovoltaic power systems for residences. *Energy Conversion*;16:79–90.
www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/REN21_GSR2011.pdf. last (accessed 09.04.18.).
- Yong, S., Fu-Qiang, W., Xin-Lin, X., He-Ping, T. ve Ying-Chun, L. (2011). Radiative properties of a solar cavity receiver/reactor with quartz window. *Int. J. Hydrogen Energy* 36, 12148–12158.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Umut ÖZBEY
Doğum Yeri ve Tarihi : Bakırköy/İSTANBUL 18.02.1993

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Müh. Fak. Makine Müh. Bölümü
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce
Bilimsel Faaliyet/Yayınlar : Abid USTAOĞLU, Junnosuke OKAJIMA, **Umut OZBEY**, Xin-Rong (Ron.) ZHANG, Shigenao MARUYAMA. Truncation Effect on Thermal Uniformity of a Novel Compound Parabolic Involute Concentrator. *Bartın University Journal of Engineering and technological sciences*, Vol. 6 Issue 1 (2018), 49-53.

Abid Ustaoglu, **Umut Ozbey**. Evaluation of the temperature effect on the performance V-trough, Compound Parabolic (CPC) and Compound Hyperbolic Concentrators for Photovoltaic Applications (pending)

Abid Ustaoglu, **Umut Ozbey**. Assessment of Temperature Effect on performance of PV-V-trough and CPC systems. *Proceedings of Fifteenth International Conference on Flow Dynamics ICFD2018*, (2018), 112-113. November 7-9, Sendai,

Japan.

Abid Ustaoglu, **Umut Ozbey**, Canan Kandilli. An Experimental Evaluation of Temperature Effect on Performance of PV-CPC Systems. *Proceedings of Fifteenth International Conference on Flow Dynamics ICFD2018*, (2018), 114-115. November 7-9, Sendai, Japan.

İş Deneyimi

Stajlar : Yapı Merkezi (Avrasya Tüp Geçit Projesi)
Çalıştığı Kurumlar : TAS EUROPROJECT / TIEG- EEIG

İletişim

E-Posta Adresi : umutozbey93@gmail.com
Tel : +90 538 742 02 20
Tarih : 14/09/2018 (Tez savunma tarihi)

